Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών και Τεχνολογικών Επιστημών
Τμήμα Βιολογίας
ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε Κρήτης

Κατανομή μακροβενθικών βιοκοινοτήτων κατά μήκος περιβαλλοντικών διαβαθμίσεων στην βαθιά Ανατολική Μεσόγειο

ΜΠΣ: Περιβαλλοντική Βιολογία

Διαχείριση Χερσαίων και Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων

Μεταπτυχιακή διατριβή

Παξιμαδά Νίκη

Ηράκλειο 2011

Επιβλέποντες καθηγητές:

Καρακάσης Ιωάννης, Αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης

Παυλίδης Μιχάλης, Επίκουρος καθηγητής του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης

Επιβλέπον ερευνητής:

Λαμπαδαρίου Νικόλαος, Εντεταλμένος Ερευνητής του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.)

University of Crete
Faculty of Science and Engineering
Department of Biology
H.C.M.R of Crete

Distribution of macrobenthic communities along environmental gradients in the deep eastern Mediterranean Sea

M.Sc. Management of Terrestrial and Marine Resources

MASTER THESIS

Paximada Niki

Heraklion 2011

Στην οικογένεια μου…

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) στο Ηράκλειο Κρήτης υπό την επίβλεψη του κ. Νίκου Λαμπαδαρίου. Αφορμή για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος υπήρξε η πραγματοποίηση της θερινής πρακτικής μου άσκησης στο συγκεκριμένο εργαστήριο ήδη από το προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Νίκο Λαμπαδαρίου, για την ηθική και επιστημονική του υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης και συγγραφής της εργασίας αυτής. Οι υποδείξεις και διορθώσεις του ήταν πολύ σημαντικές για την περαιτέρω εξέλιξη μου τόσο ως επιστήμονα όσο και ως άνθρωπο.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Ι. Καρακάση και τον κ. Μ. Παυλίδη για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην ανάγνωση και αξιολόγηση της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα να εκφράσω ολόψυχα τις ευχαριστίες μου στον τεχνικό του εργαστηρίου Ωκεανογραφίας, Δ. Ποδάρα για την συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησή του καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές τις οποίες μου παρείχε κατά την διάρκεια των τριών αυτών χρόνων. Ευχαριστώ επίσης την W. Πλα□τη, τον Γ. Χατζηγεωργίου, τον Δ. Πουρσανίδη, την Μ. Ναλετάκη για την συμπαράσταση και την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης των μακροπανιδικών οργανισμών. Χωρίς την βοήθειά τους, δεν θα μπορούσα να πραγματοποιήσω την εργασία αυτή.

Η παρούσα διατριβή δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς την σύμβαση μεταπτυχιακού υποτρόφου από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Λειτουργία και ανάπτυξη Ενυδρείου Κρήτης».

Δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στον άνθρωπό μου, Νίκο, ο οποίος στάθηκε δίπλα μου σε όλες τις δύσκολες και περίεργες στιγμές μου δίνοντας μου ανιδιοτελή αγάπη και δύναμη για να συνεχίσω.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ, κάτι που θεωρώ μηδαμινό μπροστά σε αυτά που μου έχουν προσφέρει, το οφείλω στους γονείς μου, Παντελή και Εύα και στον αδερφό μου Σταύρο, που ήταν και είναι δίπλα μου σε κάθε στιγμή της ζωής μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη....9
Abstract....11
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ....13
1.1 Βενθική Πανίδα – Μακροβένθος....13
1.2 Βαθιά Θάλασσα....17
1.3 Μεσόγειος Θάλασσα....19
1.4 Υποθαλάσσια φαράγγια και κατωφέρειες....23
1.5 Στόχοι μελέτης....25
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ....28
2.1 Περιοχή μελέτης....28
2.1.1 Η Κρήτη – Υποθαλάσσιο φαράγγι Σαμαριάς....28
2.2 Στρατηγική δειγματοληψίας....29
2.2.1 Σταθμοί Δειγματοληψίας – Τεχνικές Πεδίου....29
2.3 Εργαστηριακές τεχνικές....32
2.3.1 Διαχωρισμός ιζήματος - πανίδας....32
2.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων & Διαλογή Οργανισμών....33
2.3.3 Μέτρηση Αφθονίας & Βιομάζας....33
2.4 Στατιστική ανάλυση....34
2.4.1 Περιγραφική Στατιστική....34
2.4.2 Πολυπαραγοντική Ανάλυση....34
2.4.3 Ανάλυση Ποικιλότητας....40
2.5 Λογισμικό....42
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ....43
3.1 Μακροπανίδα....43
3.1.1 Είδη-αφθονία....43
3.1.2 Βιομάζα....56
3.1.3 Κυρίαρχα είδη....59
3.2 Πολυπαραγοντικές αναλύσεις....60
3.2.1 Πολυδιάστατη διαβάθμιση (Multi-dimensional Scaling, MDS)....60
3.2.2 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ειδών (SIMPER Analysis)....63
3.2.3 Δείκτες ποικιλότητας....66
3.2.4 Σύνδεση Βιοτικών και Αβιοτικών Παραμέτρων με τη μέθοδο BIO-ENV....70

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ 73
4.1 Δυναμική του βενθικού οικοσυστήματος.....73
4.2 Πρότυπο κατανομής της μακροπανίδας συναρτήσει του βάθους.....76
4.3 Σύγκριση διατομών 78
4.4 Ποικιλότητα 79
4.5 Παράγοντες που καθορίζουν την πανιδική σύνθεση 81
4.6 Ομοιότητα των βιοκοινωνιών συναρτήσει του βάθους.....82
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 84
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 86

Περίληψη

Για την περιγραφή του βενθικού βαθύαλου οικοσυστήματος της Κρήτης ελήφθησαν δείγματα μακροπανίδας κατά μήκος βαθυμετρικών διαβαθμίσεων στο ολιγοτροφικό σύστημα της Ανατολικής Μεσογείου. Συλλέχθηκαν δείγματα από 17 σταθμούς, οι οποίοι βρίσκονταν σε πέντε διατομές βάθους από 215 m έως 3600 m.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν το Μάιο του 2006, νότια της Κρήτης, με το ωκεανογραφικό σκάφος (Ω/Σ) «Αιγαίο» του ΕΛΚΕΘΕ, στα πλαίσια του προγράμματος HERMES (Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas). Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με δειγματολήπτη τύπου USNEL Box-corer. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της σύνθεσης της μακροπανίδας τόσο στο υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς όσο και στις γειτονικές κατωφέρειες, η σύγκριση των σταθμών μεταξύ των διατομών και η συσχέτιση των ειδών που ζουν στην περιοχή δειγματοληψίας με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Για την ανάλυση των πανιδικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η πολυδιάστατη διαβάθμιση (MDS), η μέθοδος ANOSIM για την ανάλυση ομοιότητας και το λογισμικό SIMPER Analysis για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ειδών. Η εκτίμηση της ποικιλότητας βασίστηκε στις ήδη χρησιμοποιούμενες μεθόδους (δείκτες ποικιλότητας Shannon-Wiener, Margalef και Pielou) ενώ για την εξέταση της σχέσης μεταξύ των μακροπανιδικών δεδομένων και των περιβαλλοντικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος BIO-ENV.

Η πανιδική ανάλυση έγινε σε επίπεδο είδους και απέδωσε 100 είδη από ένα σύνολο 2056 ατόμων. Κυρίαρχη ταξινομική ομάδα ήταν τα Σωληνοειδή, με τους Πολύχαιτους όμως να έχουν την μεγαλύτερη αφθονία ειδών. Η επικράτηση των Σωληνοειδών έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες μελέτες, που εμφανίζουν τους Πολύχαιτους ως αφθονότερη ομάδα. Παρόλα αυτά έχει αναφερθεί σε άλλες εργασίες ότι ένα από τα χαρακτηριστικά της υφαλοκρηπίδας της Κρήτης είναι η σχετικά υψηλή αφθονία των Σωληνοειδών, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα τους σε ολιγοτροφικές συνθήκες. Τα Μαλάκια εμφανίστηκαν έως το βάθος των 1086 μέτρων ενώ η ομάδα των Εχινοδέρμων απουσίαζε από τα δείγματα που ελήφθησαν. Σε επίπεδο είδους την μεγαλύτερη αφθονία εμφάνισε το Σωληνοειδές *Apionsoma murinae bilobatae,* ακολουθούμενο από τον Πολύχαιτο *Pholoides dorsipapillatus* και το δίθυρο *Kelliella abyssicola*.

Η αφθονία και η βιομάζα παρουσίασαν μείωση συναρτήσει του βάθους, ιδιαίτερα σε βάθη μεγαλύτερα των 1000 μέτρων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην χαμηλή πρωτογενή παραγωγή και επομένως την μειωμένη διαθεσιμότητα τροφής, ιδιαίτερα στα μεγαλύτερα βάθη. Η αφθονία ήταν μεγαλύτερη στον σταθμό με το μικρότερο βάθος, νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης.

Οι κυριότεροι παράγοντες που φάνηκε να καθορίζουν την δομή του μακροβένθους ήταν το βάθος, ο άνθρακας και το είδος του ιζήματος ενώ μεγαλύτερη ομοιότητα στην βιοκοινωνία φάνηκε να έχουν οι σταθμοί μεταξύ 215 και 2500 m. Σε βάθη μεγαλύτερα των 2500 m, οι βιοκοινωνίες όχι μόνο παρουσίαζαν διαφορές σε σχέση με αυτές των ρηχότερων σταθμών αλλά και μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό παραπέμπει στην απομόνωση που παρουσιάζουν οι βαθιές λεκάνες και άρα σε ένα είδος εξειδίκευσης στους οργανισμούς που εγκαθίστανται σε αυτές.

Λέξεις κλειδιά: μακροβένθος, βαθιά θάλασσα, Ανατολική Μεσόγειος, υποθαλάσσιο φαράγγι, κατωφέρεια.

Abstract

For the description of the deep water benthic ecosystem of Crete, macrofauna samples were collected along a bathymetric gradient in the oligotrophic system of Eastern Mediterranean. Samples were collected from 17 stations, which were located along 5 transects at depths from 215 m to 3600 m.

The samplings took place during May 2006, south of Crete, using the HCMR research vessel "Aegaeo", within the activities of the project HERMES (Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas). A box-corer sampler USNEL was used for the collection of samples. The aim of this study was the quantitative and qualitative assessment of the macrofauna composition at the submarine part of the Samaria Canyon, as well as at the nearby slopes, the comparison of the stations between the transects and the correlation of the species present in the sampling areas with the existing environmental parameters.

The multidimensional scaling (MDS) was used for the analysis of the fauna data, the ANOSIM method was used for the similarity analysis, and the software SIMPER Analysis was used for the identification of the characteristic species. The assessment of diversity was based on the already established methods (diversity indices Shannon-Wiener, Margalef and Pielou), while for the examination of the relationship between the macrofauna data and the environmental parameters the method BIO-ENV was used.

The fauna analysis was performed at a species level and indicated 100 species within a total of 2056 individuals. Although Sipuncula were the dominant taxonomic group, Polychaetes had the highest species abundance. The dominance of Sipuncula contradicts with most studies, where Polychaetes appear as the most abundant group. However, other studies have also indicated that one of the characteristics of the Cretan shelf is the relatively high abundance of Sipuncula, which can be attributed to their competitive advantage in oligotrophic conditions. Molluscs appeared down to a depth of 1086 m, while the Echinoderm group was absent from the collected samples. At a species level, most abundant was the Sipunculid *Apionsoma murinae bilobatae*, followed by the Polychaete *Pholoides dorsipapillatus* and the bivalve *Kelliella abyssicola.*

The abundance and biomass were reduced in relation to depth, especially at depths greater than 1000 m. This is a result of the low primary productivity, and thus the reduced food availability, especially at greater depths. Abundance was higher at the most shallow sampling station, south of Agia Galini harbor.

The most important factors that seem to define the macrobenthos structure were depth, organic carbon and the type of sediment, whereas stations at depths between 215 and 2500 m had similar biocommunities. At depths greater than 2500 m, the biocommunities not only presented differences in comparison to the ones of the more shallow stations, but also between them. This fact signifies the isolation conditions observed in deep basins, and therefore, the degree of specialisation regarding the organisms inhabiting them.

Keywords: macrobenthos, deep sea, Eastern Mediterranean, submarine canyon, slope.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βενθική Πανίδα – Μακροβένθος

Η ονομασία «βένθος» προέρχεται από την ελληνική λέξη βάθος και αναφέρεται στους οργανισμούς που ζουν στον θαλάσσιο πυθμένα καθώς και στον πυθμένα ποταμών και λιμνών. Στους ωκεανούς το βένθος εξαπλώνεται από τις βαθύτερες ωκεάνιες τάφρους έως την παλιρροιακή ζώνη, περιλαμβάνοντας τους οργανισμούς που ζουν μέσα και πάνω στο ίζημα, εκείνους που κατοικούν σε βραχώδες υπόστρωμα και εκείνους που σχηματίζουν βιοκοινωνίες σε κοραλλιογενείς υφάλους (Kingston 2001).

Ο Δανός Petersen, ήταν ο πρώτος, ο οποίος στις αρχές του εικοστού αιώνα ερμήνευσε τις δύο κύριες ομάδες της βενθικής πανίδας:

- την επιπανίδα που αποτελείται από οργανισμούς που ζουν ή σχετίζονται με την επιφάνεια του υποστρώματος (το ίζημα, τις πέτρες, τα κελύφη, τους υφάλους και την βλάστηση) και

- την ενδοπανίδα που αποτελείται από οργανισμούς που ζουν μέσα στο υπόστρωμα (η πλειοψηφία των οποίων εμφανίζεται στα τρία πρώτα εκατοστά του ιζήματος (Gerino et al. 1995)) και είτε μετακινούνται ελεύθερα μέσα σε αυτό είτε «τρυπώνουν» μέσα στο υπόστρωμα και ζουν σε σωλήνες ή ανάμεσα στους κόκκους του ιζήματος.

Φαίνεται ότι η επιπανίδα καταλαμβάνει λιγότερο από το 10% της συνολικής περιοχής του θαλάσσιου βυθού, φτάνοντας τη μέγιστη αφθονία στα ρηχά νερά και στην υπερπαλιρροιακή ζώνη των τροπικών περιοχών (Thorson 1950). Αντίθετα, η κατά τον Thorson ενδοπανίδα (1950), καταλαμβάνει περισσότερο από την μισή επιφάνεια του πλανήτη και είναι περισσότερο ανεπτυγμένη στην παράκτια υποθαλάσσια περιοχή. Ωστόσο, ο αριθμός των επιπανιδικών ειδών φαίνεται να είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των ενδοπανιδικών. Αυτό συμβαίνει επειδή ο επίπεδος πυθμένας παρέχει ένα πιο ομοιόμορφο περιβάλλον, με λιγότερους δυνητικούς τύπους ενδιαιτήματος για την υποστήριξη μιας ευρείας ποικιλίας ειδών. Με βάση το μέγεθος η ενδοπανίδα ταξινομείται σε:

- μικροπανίδα – ζώα μικρότερα από 0.06 mm.

- μειοπανίδα – ζώα μεγέθους 0,06 – 0,5 mm και

- μακροπανίδα – ζώα μεγέθους 0,5 – 200 mm.

Πρακτικά, όλες οι κύριες ζωικές ομάδες της μακροπανίδας έχουν αντιπροσώπους στη βαθιά θάλασσα, αλλά η σχετική τους αφθονία ποικίλει. Τα Καρκινοειδή, ιδιαίτερα τα Ισόποδα, τα Αμφίποδα, τα Ταναϊδώδη και τα Κουμώδη, συναντώνται στη βαθιά θάλασσα, αποτελώντας στην αβυσσαία περιοχή του Ατλαντικού, το 30-50% της πανίδας. Οι Πολύχαιτοι παρουσιάζουν, επίσης, αυξημένη αφθονία και αποτελούν το 40-80% της πανίδας του Ατλαντικού (Nybakken 2005). Οι κύριοι αντιπρόσωποι της βαθιάς κοινωνίας είναι τα Ολοθουροειδή, καθώς είναι και οι πιο συνηθισμένοι οργανισμοί στις φωτογραφίες αλλά και στις σύρσεις από τα βαθιά νερά. Υπάρχουν, επίσης, αστερίες (Αστεροειδή), Κρινοειδή και αχινοί (Εχινοειδή), σε μικρότερες αφθονίες. Από το φύλο των Πορόφόρων, τα βαθιά νερά κατοικούνται από Υαλόσπογγους (Εξακτινελλίδες), μια ομάδα που σπάνια βρίσκεται στα ρηχά νερά. Οι πιο κοινοί αντιπρόσωποι των Κνιδοζώων είναι οι θαλάσσιες ανεμώνες (Ανθόζωα), οι θαλάσσιες πέννες (Πτεροειδή), οι γοργόνιες (Γοργονοειδή), τα υδρόζωα και τα ζωανθάρια (Ανθόζωα). Τέλος συναντάται ένας αριθμός ψαριών, αλλά η κινητικότητά τους κάνει δύσκολη την εκτίμηση της αφθονίας τους (Barnes et al. 1988, Kingston 2001, Nybakken 2005).

Μελέτες (Gray 1981, Hessler and Sanders 1967, Petersen 1913, Rhoads 1974) έδειξαν ότι η δομή και η σύνθεση των κοινοτήτων μαλακού υποστρώματος παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά του ιζήματος, αλλά η εξήγηση για τη σχέση αυτή παραμένει υπό αμφισβήτηση (Snelgrove and Butman 1994). Επίσης, ο ρόλος του μεγέθους των κόκκων του ιζήματος στη σύνθεση και στην κατανομή των μακροβενθικών κοινοτήτων της βαθιάς θάλασσας καθώς και η ευαισθησία των βαθιών ειδών στις μικρές διαφορές του μεγέθους του ιζήματος φαίνεται να επηρεάζει τους οργανισμούς (Etter and Grassle 1992). Ωστόσο, ο χημικός και φυσικός χαρακτήρας των ιζημάτων είναι αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Μελέτες δείχνουν ότι ένας από τους συνηθισμένους παράγοντες που επηρεάζει την κατανομή και τη δομή των πληθυσμών σχετίζεται με τη φύση και την προέλευση των ιζημάτων και ιδιαίτερα:

- την κατανομή του μεγέθους των κόκκων
- τη γεω-χημική σύνθεση και
- τον τρόπο μεταφοράς και ιζηματογένεσης (Etter and Grassle 1992).

Έρευνες στη Βόρεια Θάλασσα, ακόμη, έδειξαν ότι η ποιότητα του οργανικού υλικού που κατακάθεται στον πυθμένα δομεί τις μακροπανιδικές κοινότητες (Dauwe et al. 1998, Wieking 2002). Η ποιότητα και η ποσότητα του οργανικού υλικού που καταβυθίζεται και φτάνει στον πυθμένα της βαθιάς θάλασσας επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, συμπεριλαμβάνοντας:

- την πρωτογενή παραγωγή,
- το ρυθμό καταβύθισης του φυτοπλαγκτού,
- το ρυθμό αύξησης του ζωοπλαγκτού,
- το ύψος της υδάτινης στήλης,
- το βάθος του μικτού στρώματος και της απόστασης από την ξηρά και
- τις πηγές εισερχόμενου υλικού (Pace et al. 1984).

Η κατανομή των κυριότερων τροφικών ομάδων των ασπόνδυλων του βυθού εξαρτάται από την διαθεσιμότητα των πηγών τροφής, οι οποίες πηγές εξαρτώνται από το προφίλ του βυθού και το βαθμό του ευτροφισμού της υπερκείμενης υδάτινης στήλης (Peres 1982). Έτσι, η δομή της μακροπανίδας εξαρτάται από τα τροφικά μοντέλα των νηκτονικών ειδών, τα οποία με τη σειρά τους καθορίζουν την ποσότητα αλλά και την ποιότητα της διαθέσιμης τροφής που καταλήγει στα βαθιά ιζήματα. Υψηλά ποσά φρέσκου οργανικού υλικού καταλήγουν σε είδη που τρέφονται στην επιφάνεια του ιζήματος ή στο όριο του βενθικού στρώματος, ενώ χαμηλή οργανική ουσία ενισχύει τους κάτω από την επιφάνεια ιζηματοφάγους οργανισμούς και τους θηρευτές. Παράλληλα, η αφθονία και η βιομάζα της μακροπανίδας διαφέρει εποχικά εξαιτίας της εποχικής διαφοράς στην διαθεσιμότητα της τροφής, η οποία μπορεί δύσκολα να ανιχνευτεί αφού τα χρονικά διαστήματα που εισέρχεται τροφή στη βαθιά θάλασσα είναι μεγάλα (Danovaro et al. 2000). Οι βαθύβιοι θαλάσσιοι οργανισμοί έχουν χαμηλό μεταβολισμό έχοντας έτσι χαμηλότερη απαίτηση σε τροφή ενώ πολλοί από αυτούς τρέφονται μια φορά το έτος και ζουν 100 χρόνια ή και περισσότερο (Castro and Huber 1999, Θεοδώρου 2004). Αυτό ίσως να οφείλεται στις χαμηλές θερμοκρασίες και την υψηλή πίεση, οι οποίες επιβραδύνουν τις διεργασίες της ζωής στα μεγάλα βάθη.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αφθονία, την βιομάζα και την κατανομή των ειδών (Blake James A. and Hilbig 1994, Blake J.A. and Grassle 1994, Carvey et al. 1983, Gage J. D. and Tyler 1991, Peres 1982, Rex 1981) μπορεί να είναι:

- φυσικής προέλευσης
    - θερμοκρασία
    - πίεση
    - προμήθειες θρεπτικών μορίων που ελέγχουν την κατανομή του μεγέθους των κόκκων
    - γεωχημικά χαρακτηριστικά
    - διαθεσιμότητα τροφής στα ιζήματα
    - ρεύματα που ευνοούν τη διασπορά των λαρβών
- βιολογικής προέλευσης
    - τακτικές ζωής
    - ανταγωνισμός ειδών
    - θήρευση
    - τροφικές στρατηγικές διαβίωσης.

Όσο πιο μεγάλο είναι το βάθος τόσο λιγότερη τροφή είναι διαθέσιμη για τα ζώα που ζουν στον πυθμένα. Αυτό έχει επιπτώσεις στην πανίδα καθώς η πυκνότητα των οργανισμών είναι μικρή αλλά και το μέγεθος των περισσοτέρων είναι πολύ μικρό. Παρόλα αυτά, στη βαθιά θάλασσα υπάρχουν κάποια είδη, τα οποία γίνονται ασυνήθιστα μεγάλα σε μέγεθος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «αβυσσαίος γιγαντισμός» και εμφανίζεται κυρίως σε Καρκινοειδή (Kingston 2001). Οι λόγοι του «αβυσσαίου γιγαντισμού» δεν είναι γνωστοί, αλλά πιστεύεται ότι οφείλεται είτε στον ασυνήθιστο μεταβολισμό κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης είτε στην αργή ανάπτυξη και ωριμότητα του ζώου.

1.2 Βαθιά Θάλασσα

Ο πιο εκτεταμένος οικότοπος που κατοικείται από ζωντανούς οργανισμούς είναι τα μονίμως κρύα και σκοτεινά νερά και ο μεγάλου βάθους πυθμένας των ωκεανών. Τα ρηχά νερά που περιβάλλουν τις ηπείρους και τα νησιά της Γης αποτελούν λιγότερο από το 10% της συνολικής επιφάνειας των ωκεανών. Τα ρηχότερα από αυτά, εκεί όπου υπάρχει φως, αποτελούν ένα ακόμη μικρότερο τμήμα του συνολικού κατοικήσιμου όγκου των θαλασσών. Το 70% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό. Από αυτό, το 85% της έκτασης και το 90% του όγκου αποτελεί το σκοτεινό, κρύο περιβάλλον που ονομάζουμε βαθιά θάλασσα. Από το συνολικό όγκο της βιόσφαιρας, το 79% αποτελείται από θαλασσινό νερό με βάθος μεγαλύτερο των 1000 m (Gage J. D. and Tyler 1991, Nybakken 2005).

Παρόλο που η βαθιά θάλασσα είναι ο μεγαλύτερος οικότοπος πάνω στη Γη, η βιολογία της έχει μελετηθεί και ερευνηθεί λιγότερο από τις άλλες περιοχές. Αυτό οφείλεται κυρίως στη δυσκολία διεξαγωγής δειγματοληψιών σε αυτή την απομακρυσμένη περιοχή και στο γεγονός ότι, μέχρι τελευταία, ήταν απρόσιτη στον άνθρωπο. Τα τελευταία χρόνια η κατασκευή των επανδρωμένων και των τηλεκατευθυνόμενων υποβρύχιων οχημάτων θα επέτρεπε, θεωρητικά, την επιστημονική παρατήρηση σε μεγάλο μέρος της βαθιάς θάλασσας. Εντούτοις, τα οχήματα αυτά, έχουν επισκεφτεί ένα μικρό μέρος αυτής της περιοχής, λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας τους (Castro and Huber 1999, Gage J. D. and Tyler 1991, Nybakken 2005).

Όταν αναφερόμαστε στη βαθιά θάλασσα εννοούμε το τμήμα εκείνο του θαλάσσιου περιβάλλοντος, το οποίο βρίσκεται βαθύτερα από το επίπεδο στο οποίο διεισδύει φως αρκετό για φωτοσύνθεση από το φυτοπλαγκτόν, και σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας. Εξαιτίας των τοπικών διαφορών, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το ακριβές ανώτερο όριο του βενθικού περιβάλλοντος στη βαθιά θάλασσα. Ωστόσο, θεωρείται ότι ξεκινάει από τα 200 m βάθος. Η βαθιά θάλασσα μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κύριες περιοχές: τη βενθική ζώνη (που σχετίζεται με τον πυθμένα) και την πελαγική (που σχετίζεται με τη στήλη του νερού).

Νερά βαθύτερα των 1000 m καλύπτουν περίπου το 60% του πλανήτη και τα μοναδικά τους οικοσυστήματα μόλις προσφάτως (από το 1970) εξερευνήθηκαν. Υδροθερμικές πηγές, cold seeps και κοραλλιογενείς ύφαλοι εμφανίζονται στα βαθιά νερά

ενώ άλλα ενδιαιτήματα, όπως θαλάσσια βουνά και υποθαλάσσια φαράγγια θεωρούνται ως hotspots βιοποικιλότητας (Cartes et al. 2004).

Κατά τη διάρκεια ερευνών στο Αιγαίο (Forbes 1844) διατυπώθηκε η άποψη ότι η θάλασσα αυτή στερούνταν θαλάσσιας ζωής σε βάθη μεγαλύτερα από 300 οργιές (550 m) και χρησιμοποιήθηκε ο όρος «αζωική ζώνη» για τα βάθη αυτά. Αυτό οδήγησε σε μια παρεξήγηση, η οποία δεν λύθηκε μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Στις αρχές τις δεκαετίας του ’60 αυτή η ιδέα, της «αζωικής ζώνης», εγκαταλείφθηκε καθώς εντατικοποιήθηκαν οι δειγματοληπτικές προσπάθειες και βελτιώθηκαν οι μέθοδοι σύρσης δραγών και επεξεργασίας δειγμάτων. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να αντικατασταθεί η ισχύουσα γνώμη και να διατυπωθεί η άποψη ότι η βαθιά θάλασσα αποτελεί μια βιοκοινωνία με υψηλή ποικιλότητα (Sanders Howard L. 1958). Αν και δεν είναι γνωστός ο ακριβής αριθμός των ειδών που υπάρχουν στην βαθιά θάλασσα, ωστόσο υπολογίζεται ότι υπάρχουν 10 έως 111 εκ. είδη συνολικά (Kaiser et al. 2005).

Η βαθιά θάλασσα, παραδοσιακά, θεωρείται ένα σταθερά αμετάβλητο περιβάλλον, το οποίο κατοικείται από αραιά κατανεμημένους οργανισμούς οι οποίοι εξαρτώνται από την σταθερή παροχή λεπτών μεριδίων τροφής από την εύφωτη ζώνη (Sarda F. et al. 2004). Παρόλα αυτά, από τις διαθέσιμες πληροφορίες, φαίνεται ότι τα βαθιά θαλάσσια οικοσυστήματα είναι εύθραυστα και ότι οι βαθιές θαλάσσιες κοινότητες είναι υπερβολικά ευαίσθητες σε ένα μεγάλο εύρος διαταραχών (Danovaro et al. 2001, Gage J. D. and Tyler 1991, Gage 2001).

Οι γνώσεις μας για την βιοποικιλότητα των βενθικών οργανισμών της βαθιάς θάλασσας είναι ελάχιστες και προέρχονται κυρίως από μελέτες της μακροπανίδας. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές περιοχές και ενδιαιτήματα που παραμένουν ανεξερεύνητα και πολλές ταξινομικές ομάδες που είναι ακόμα άγνωστες (Coll et al. 2010). Όμως, πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες αποκάλυψαν μια απρόσμενη πολυπλοκότητα στη δομή της πανιδικής σύνθεσης που κατά κύριο λόγο διαμορφώνεται από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Εξαιτίας της εξάρτησης για τροφή από την επιφανειακή παραγωγή, η ζωή είναι πολύ λιγότερο άφθονη στη βαθιά θάλασσα, σε σύγκριση με το εύφωτο επιφανειακό στρώμα. Τα περισσότερα μερίδια τροφής τρώγονται πριν βυθιστούν σε βαθύτερα νερά. Με τη μείωση της τροφικής παροχής, οι οργανισμοί γίνονται όλο και πιο σπάνιοι στα

μεγαλύτερα βάθη. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν 5 έως 10 φορές λιγότεροι οργανισμοί στα 500 m για παράδειγμα, από ότι στην επιφάνεια και ίσως 10 φορές επιπλέον λιγότεροι στα 4000 m (Castro and Huber 1999).

Αν και ο αριθμός των ατόμων στην βαθιά θάλασσα είναι αρκετά μικρός, παρόλα αυτά υπάρχει υψηλή ποικιλότητα. Ο συνδυασμός πολλά είδη – λίγα άτομα έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές τιμές πυκνότητας και έχει οδηγήσει στον υπαινιγμό από κάποιους ότι η βιοποικιλότητα της βαθιά θάλασσας είναι συγκρίσιμη με αυτή των τροπικών δασών (Kingston 2001).

1.3 Μεσόγειος Θάλασσα

Η Μεσόγειος θάλασσα, η αρχαία *Mare Nostrum, Mare Internum* ή *Mediterraneum* («θάλασσα μεταξύ της ξηράς»), είναι μια σχετικά μικρή αλλά βαθιά λεκάνη, η οποία περιβάλλεται από ηπείρους (Sarda F. et al. 2004). Το γεγονός ότι περιβάλλεται από ηπείρους, διέπει τη γενική της μορφολογία ενώ η περιορισμένη επικοινωνία της με τον ανοιχτό ωκεανό αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που επιδρά στη δυναμική της ιζηματομεταφοράς και την φυσική ωκεανογραφία (Sarda F. et al. 2004). Επειδή η Μεσόγειος θάλασσα θεωρείται μικρογραφία ενός μεγάλου ωκεανού (Bethoux et al. 1999, Danovaro et al. 2001), οι αλλαγές που συμβαίνουν στην Ανατολική Μεσόγειο μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μοντέλο δυναμικής αστάθειας της ωκεάνιας κυκλοφορίας (Sarda F. et al. 2004).

Η Μεσόγειος θάλασσα είναι μια σχεδόν κλειστή θαλάσσια λεκάνη με έκταση 2.542.000 km^2 μεταξύ της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής. Το μέσο βάθος της ανέρχεται στα 1650 m, με το βαθύτερο σημείο της να βρίσκεται στην Α. Μεσόγειο, νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου (5121 m). Επικοινωνεί με τον Ατλαντικό μέσω του Γιβραλτάρ, με την Ερυθρά Θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ και με τη Μαύρη Θάλασσα μέσω των Δαρδανελλίων.

Αποτελεί ένα υπόλοιπο της Τηθύος Θάλασσας, η οποία υπήρξε από την περίοδο του Κάμβριου του Παλαιοζωικού έως το Μειόκαινο του Τριτογενούς. Η κρίση αλατότητας κατά τη Μεσσήνιο γεωλογική περίοδο οδήγησε στην ολοκληρωτική αποξήρανσή της,

γεγονός που προκάλεσε μαζική εξάλειψη της χλωρίδας και πανίδας εκείνου του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Έπειτα, περίπου 5 εκ. χρόνια πριν, επαναποικίστηκε από οργανισμούς ατλαντικής προέλευσης κυρίως με την επανασύνδεσή της με τον Ατλαντικό Ωκεανό. Παράλληλα, με την διάνοιξη της διώρυγας του Σουέζ (1869), εισήχθησαν νέα είδη από τον Ινδικό Ωκεανό, οι λεγόμενοι Λεσσεψιανοί μετανάστες, κάτι που επηρέασε την σύνθεση της πανίδας του ευρύτερου θαλάσσιου οικοσυστήματος της Μεσογείου.

Οι συνθήκες που επικρατούν και χαρακτηρίζουν την Μεσόγειο σήμερα (Christaki et al. 2001, Dolan et al. 1999, Kiortsis 1985, Krom et al. 1991, Turley et al. 2000) είναι:

- Αρνητικό ισοζύγιο νερού εξαιτίας του υψηλού ρυθμού εξάτμισης καθώς αυτός είναι τρεις φορές υψηλότερος από τις εισροές λόγω βροχόπτωσης. Η διαφορά καλύπτεται από την είσοδο νερού από το Γιβραλτάρ.

- Στρωμάτωση των νερών και εμφάνιση θερμοκλινούς.

- Έλλειψη παλίρροιας.

- Υψηλή αλατότητα (κυρίως στο ανατολικό τμήμα).

- Διαβάθμιση των κλιματικών συνθηκών με το γεωγραφικό πλάτος.

- Διαβάθμιση στην ποσότητα των θρεπτικών από δυτικά προς ανατολικά τόσο σε επίπεδο συγκέντρωσης θρεπτικών όσο και πρωτογενούς παραγωγής και βιομάζας αυτότροφων οργανισμών.

- Μείωση βιοποικιλότητας με το γεωγραφικό πλάτος και εμφάνιση τοπικών ιδιαιτεροτήτων.

Ένα ακόμα μοναδικό χαρακτηριστικό της Μεσογείου είναι ότι αποτελεί μια από τις λίγες ζεστές βαθιές θαλάσσιες λεκάνες στον κόσμο, όπου η θερμοκρασία παραμένει σε μεγάλο βαθμό ομοιόμορφη στους 12.5-14.5^{o} C σε όλα τα βάθη, με υψηλή αλατότητα (37,5-39,5 psu) και υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης οξυγόνου (4,5-5,0 mg l^{-1}) (Hopkins 1985, Miller et al. 1970). Παράλληλα, η Μεσόγειος έχει πολλές γεωμορφολογικές δομές - υποθαλάσσια φαράγγια, υποβρύχια βουνά, ηφαίστεια από λάσπη (mud volcanoes), και βαθιές τάφρους - έχοντας έτσι μεγάλη ποικιλία στην γεωμορφολογία της σε σχέση με άλλες περιοχές του κόσμου (Cartes et al. 2004).

Με βάση τα γεωμορφολογικά, κλιματολογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά η Μεσόγειος διακρίνεται σε δύο κύριες λεκάνες. Ι) Στη λεκάνη της Δυτικής Μεσογείου όπου εντάσσονται μικρότερες θάλασσες (Θάλασσα του Alboran, Θάλασσα της Αλγερίας-Προβηγκίας, Τυρρηναϊκή Θάλασσα). Η θαλάσσια αυτή λεκάνη εμφανίζει μικρότερο μέγιστο βάθος (<3600 m) σε σχέση με την Ανατολική Μεσόγειο αλλά βαθιές πεδιάδες και οροσειρές καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της έκτασης της. Πρόκειται για σχετικά εύτροφη και παραγωγική λεκάνη, τα χαρακτηριστικά της οποίας διατηρούνται λιγότερο ή περισσότερο σε όλη την έκτασή της, αποτελώντας έτσι μια ενιαία λεκάνη. ΙΙ) Στη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου όπου εντάσσονται μικρότερες θάλασσες (Αδριατική Θάλασσα, Ιόνιο Πέλαγος, Αιγαίο Πέλαγος, Θάλασσα της Λεβαντίνης). Η θαλάσσια αυτή λεκάνη εμφανίζει μεγαλύτερο μέγιστο βάθος (5121 m –ΝΔ Πελοπόννησος) σε σχέση με την Δυτική Μεσόγειο, αλλά μεγάλα τμήματα της είναι σχετικά ρηχά. Πρόκειται για μια ολιγότροφη λεκάνη και με μικρή σχετικά παραγωγικότητα. Οι θαλάσσιες υπολεκάνες της Ανατολικής Μεσογείου εμφανίζονται με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά και έτσι η λεκάνη αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι απαρτίζει μια ενιαία λεκάνη (Castro and Huber 1999).

Η Ανατολική και Δυτική Μεσόγειος έχουν σημαντικές γεωλογικές και βιολογικές διαφορές. Η Ανατολική Μεσόγειος είναι γεωλογικά πιο ενεργή από την Δυτική, καθώς ενώνονται τρεις κύριες τεκτονικές πλάκες: η Αφρικανική, η Ευρασιατική και η Αραβική. Για το λόγο αυτό, στην περιοχή αυτή εμφανίζεται ένα μεγάλο εύρος από γεωλογικές δομές όπως θαλάσσια βουνά και ψυχρές πηγές (cold seeps). Βιολογικά, ενώ και η Δ. Μεσόγειος είναι ολιγοτροφική σε σχέση με τον Ατλαντικό ωκεανό, έχει υψηλότερη πρωτογενή παραγωγή, ειδικά στον κόλπο του Λέοντος (ακτές Γαλλίας), εξαιτίας του ποταμού Ρήνου. Η Α. Μεσόγειος έχει πολύ χαμηλή πρωτογενή παραγωγή (Psarra et al. 2005), ειδικά στην Θάλασσα της Λεβαντίνης (Cartes et al. 2004) και «φτωχή» πανίδα συγκριτικά με την Δ. Μεσόγειο (Koukouras et al. 2001, Pitta et al. 2001). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με άλλες μελέτες για την Κρήτη, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, η μακροπανίδα δεν είναι καθόλου «φτωχή» συγκριτικά με αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων θαλάσσιων περιοχών τόσο της Μεσογείου όσο και του Ατλαντικού (Karakasis I. and Eleftheriou 1997).

Η Ανατολική Μεσόγειος χαρακτηρίζεται ως «βιολογική έρημος», ολιγοτροφική, φτωχή σε θρεπτικά συστατικά και με μικρό αριθμό ατόμων. Παρόλα αυτά, από ποιοτικής

άποψης (αριθμό ειδών) θεωρείται από τις πλέον πλούσιες θάλασσες - πολλές μελέτες την χαρακτηρίζουν ως «βενθικό hotspot» (Boetius et al. 1996, Danovaro et al. 2001, Hausmann et al. 2002, Lykousis et al. 2002, Tselepides and Lampadariou 2004). Η βιοποικιλότητά της εκτιμήθηκε στο 4-18% της παγκόσμιας θαλάσσιας ποικιλομορφίας σε μια περιοχή που καλύπτει μόλις το 0.82% του συνόλου των ωκεανών (Bianchi C.N 1996, Bianchi C. Nike and Morri 2000).

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που προκαλεί την ολιγοτροφία στη Μεσόγειο είναι ο περιορισμένος φώσφορος (Ignatiades et al. 1995, Krom et al. 1991, Tselepides and Eleftheriou 1992, Tselepides et al. 2000a) όπως επίσης και οι εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις λιπιδίων, πρωτεϊνών, υδατανθράκων και η κυριαρχία των πικομερών κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου (Danovaro et al. 2000).

Το μικρό μέσο μέγεθος των ειδών (τα περισσότερα ζώα μεταξύ 0,5 και 10 mm) φαίνεται να είναι χαρακτηριστικό της βενθικής πανίδας της βαθιάς θάλασσας (Thiel 1975, Udalov et al. 2005) και κατ' επέκταση της βαθιάς Μεσογείου καθώς η πλειονότητα των οργανισμών που συλλέγονται από αυτή είναι πολύ μικρού μεγέθους. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως το φαινόμενο του «ανατολικού νανισμού» (Thiel 1975) και πιθανώς να οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες της περιοχής και στην έλλειψη διαθεσιμότητας της τροφής. Αν και το βάθος ως περιβαλλοντική μεταβλητή δεν επιδρά άμεσα στο μέγεθος του βένθους (Udalov et al. 2005) ωστόσο επιδρά και τροποποιεί άλλους παράγοντες, όπως τις τροφικές συνθήκες και τις ιδιότητες του ιζήματος. Σαν συνέπεια, η μείωση της βιομάζας του μακροβένθους με το βάθος είναι πιο έκδηλη από την μείωση της πυκνότητας του, στην βαθιά Μεσόγειο.

Συμπερασματικά, στη Μεσόγειο, και ειδικότερα στο ανατολικό τμήμα αυτής, όπου ανήκουν και οι ελληνικές θάλασσες, η βιοποικιλότητα θεωρούνταν μέχρι πρόσφατα μειωμένη και μάλιστα ορισμένοι ερευνητές, παλαιότερα, είχαν διατυπώσει την θεωρία της «Πτωχευμένης Ποικιλότητας της Ανατολικής Μεσογείου» (Peres and Picard 1958). Όμως, στην διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας, εντατικές έρευνες στον χώρο της Ανατολικής Μεσογείου έχουν συμβάλλει στην διαμόρφωση της άποψης ότι η ποικιλότητα στη λεκάνη αυτή δεν είναι τόσο χαμηλή και αναμένεται ότι θα αυξηθεί ακόμη περισσότερο όταν οι έρευνες καλύψουν οικοσυστήματα που μέχρι πρότινος δεν είχαν μελετηθεί επαρκώς (Coll et al. 2010, Koutsoubas et al. 2000).

1.4 Υποθαλάσσια φαράγγια και περιοχές με κλίση

Τα φαράγγια είναι βαθιές τομές της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας και του πρανούς ενώ οι περιοχές με κλίση, οι πλαγιές, είναι οι περιοχές εκείνες, που παρουσιάζουν μεγάλη και έντονη αύξηση του βάθους σε μικρή σχετικά απόσταση. Ενώ στην ξηρά τα φαράγγια παρουσιάζονται σαν τα πιο θεαματικά σκηνικά του κόσμου, στο θαλάσσιο περιβάλλον, κρυμμένα από τον ωκεανό, αγνοούνται. Αυτό γίνεται, κατά κύριο λόγο, εξαιτίας των δυσκολιών που υπάρχουν στην εξερεύνηση τέτοιων περίπλοκων περιβαλλόντων. Γενικότερα, τα φαράγγια είναι γνωστά ως:

- hotspots υψηλής πανιδικής βιομάζας
- σημαντικά μονοπάτια για τη μεταφορά και τον ενταφιασμό οργανικού άνθρακα στους ωκεανούς
- δίοδοι ταχείας κυκλοφορίας για υλικό που μεταφέρεται από την ξηρά στη βαθιά θάλασσα (Weaver et al. 2004).

Τα βενθικά οικοσυστήματα είναι ισχυρά εξαρτώμενα από την παροχή οργανικού υλικού που εισέρχεται στο ίζημα (Polymenakou et al. 2008). Τα υποθαλάσσια φαράγγια διαφέρουν από τα γειτονικά «ανοιχτά» περιβάλλοντα, στην ποσότητα και την ποιότητα των αποθέσεων οργανικού άνθρακα, έχουν υψηλότερα ποσοστά οργανικού άνθρακα από τις γειτονικές περιοχές (Buscail and Germain 1997, Monaco et al. 1999), και η μεταφορά υλικού μέσα στα φαράγγια μπορεί να συγκριθεί με αυτή του γειτονικού πρανούς (Monaco et al. 1999). Έτσι στα συστήματα αυτά, το οργανικό υλικό εισέρχεται μέσω μεταφοράς με κλίση ενώ στα «ανοιχτά» συστήματα το οργανικό υλικό ρέει (Polymenakou et al. 2008). Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα περιβάλλοντα των φαραγγιών συμπεριφέρονται ως ιζηματοπαγίδα μεριδίων που προέρχονται από την υφαλοκρηπίδα και έχουν ρόλο-κλειδί ως κανάλι που μεταφέρει οργανικό υλικό από τα ρηχά στα βαθιά περιβάλλοντα (Polymenakou et al. 2008, Pusceddu et al. 2010, Weaver et al. 2004).

Τα υποθαλάσσια φαράγγια είναι σύνθετα συστήματα όσον αφορά την υδρογραφία, την ιζηματολογία, τη βιοχημεία και τη βιολογία (Weaver et al. 2004). Όσες περισσότερες γνώσεις αποκτούμε για τα φαράγγια, τόσο πιο προφανές γίνεται το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση τόσο μέσα στο ίδιο το σύστημα του φαραγγιού όσο και μεταξύ διαφορετικών φαραγγιών. Κάθε φαράγγι έχει ξεχωριστά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά,

τα οποία καθορίζουν την ποικιλότητα και την οικολογία της πανίδας του (Vetter and Dayton 1998). Είναι ετερογενή οικοσυστήματα και οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί γι' αυτά προέρχονται από έρευνες που αφορούν τον μηχανισμό μεταφοράς ιζήματος και τη ροή του στη βαθιά θάλασσα.

Όσον αφορά τους οργανισμούς που ζουν στα υποθαλάσσια φαράγγια, έχουν καταγραφεί υψηλές βιομάζες μακροβένθους και μειοβένθους (Cartes 1998). Αντιθέτως, παρατηρήθηκε ότι το απόθεμα της μακροπανίδας μέσα σε ένα φαράγγι δεν μειώνεται μόνο με το βάθος αλλά και από την απόσταση από την είσοδο του φαραγγιού (Duineveld Gérard et al. 2001). Τα είδη και οι αφθονίες τους διαφέρουν από φαράγγι σε φαράγγι και φαίνεται να σχετίζονται με την διακύμανση των σωματιδίων, την τοπογραφία και την υδρογραφία του κάθε φαραγγιού (Weaver et al. 2004). Στις κοινωνίες των δεκάποδων Καρκινοειδών, η σύνθεση των ειδών φαίνεται να είναι παρόμοια μεταξύ των φαραγγιών και των γειτονικών περιοχών και μόνο κάποια υποδεέστερα είδη (*Ligur ensiferus, Plesionika edwardsi*) είναι περισσότερο κατανεμημένα ή πιο άφθονα στα φαράγγια (Cartes et al. 1994).

Συμπερασματικά, οι βιολογικές διαφορές μεταξύ των φαραγγιών και των γειτονικών περιοχών προκύπτουν περισσότερο από τις διαφορές στην βιομάζα, παρά από την εγκαθίδρυση ξεχωριστών κοινωνιών ή ειδών, πιθανόν ως επακόλουθο του υψηλού υδροδυναμισμού που επικρατεί σε αυτό τον τύπο περιβάλλοντος (Cartes et al. 2004).

Στη βαθιά Μεσόγειο Θάλασσα, τα υποθαλάσσια φαράγγια είναι σημαντικά για την δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος για τους εξής λόγους:

- Τα φαράγγια δρουν ως προσωρινές «αποθήκες» ιζήματος και άνθρακα. Παρόλα αυτά, γρήγορες και προσωρινές διαταράξεις στα κανάλια, μπορούν να μετακινήσουν και να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ιζήματος, σε μεγαλύτερα βάθη, κάτι ιδιαίτερα δυσβάστακτο για το βενθικό οικοσύστημα (Weaver et al. 2004).

- Η πυκνότητα της πανίδας είναι συνήθως υψηλότερη στα φαράγγια σε σχέση με την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και τις κατωφέρειες, γεγονός το οποίο αποδίδεται στην μεταφορά ιζήματος και οργανικού υλικού στις βαθύτερες και φτωχότερες λεκάνες (Duineveld Gérard et al. 2001).

- Τα φαράγγια μπορούν να δράσουν ως μονοπάτια για την εποίκιση των βαθιών νερών από παράκτια είδη, όταν αυτά μεταφέρονται οριζόντια (Cartes and Sorbe 1999, Macquart-Moulin and Patriti 1996, Stora et al. 1999) ενώ με την δημιουργία τοπικών αναβλύσεων εμπλουτίζεται η στήλη του νερού και τα πελαγικά συστήματα (Abello et al. 2003, Palomera 1992).

- Είδη που κατοικούν στα φαράγγια ή σε γειτνιάζουσες περιοχές εμφανίζουν χρονικές αλλαγές σε αφθονία, πιθανόν ως συνέπεια της εποχιακής διακύμανσης των πηγών τροφής στα φαράγγια. Επίσης έχει καταγραφεί υψηλότερη στρατολόγηση των μακροπανιδικών και μεγαπανιδικών ειδών μέσα στα φαράγγια ή σε γειτονικές των φαραγγιών περιοχές (Cartes and Sorbe 1999, Sarda et al. 1994, Stefanescu et al. 1994).

Όσον αφορά το υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς παρατηρήθηκε ότι διαφέρει από τα υπόλοιπα υποθαλάσσια φαράγγια στις συγκεντρώσεις οργανικού υλικού, άνθρακα και χλωροφύλλης (Polymenakou et al. 2008, Pusceddu et al. 2010). Η ποσότητα και η θρεπτική ποιότητα του οργανικού υλικού του ιζήματος στο υπό μελέτη φαράγγι δεν διέφεραν από αυτές των γειτονικών πλαγιών σε παρόμοιο βάθος (Polymenakou et al. 2008, Pusceddu et al. 2010). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα φαράγγια σε άλλες περιοχές (Lastras et al. 2009), όπου ο άνθρακας, οι χρωστικές και η χλωροφύλλη εμφανίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο ίζημα σε σχέση με αυτές των γειτονικών περιοχών (Pusceddu et al. 2010).

1.5 Στόχοι μελέτης

Το βαθύ ωκεάνιο περιθώριο της Ευρώπης εκτείνεται σε μια απόσταση 15.000 km κατά μήκος του Ατλαντικού ωκεανού από το Αρκτικό έως το Ιβηρικό περιθώριο και από την δυτική έως την ανατολική Μεσόγειο και την Μαύρη Θάλασσα. Το περιθώριο αυτό εκτείνεται από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, στα 200 m περίπου έως το βάθος των 4000 m όπου η αβυσσική πεδιάδα ή ωκεάνια λεκάνη ξεκινάει και καλύπτει 3.000.000. km^2.

Η Ανατολική Μεσόγειος έχει ένα μοναδικό, αλλά ελάχιστα γνωστό, από πλευράς θαλάσσιας έρευνας, οικοσύστημα. Ειδικότερα, η πλειοψηφία των οργανισμών της βαθιάς

Μεσογείου είναι ουσιαστικά άγνωστη. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, σημαντικές προσπάθειες (Boetius et al. 1996, Danovaro et al. 2001, Karakasis I. and Eleftheriou 1997, Koutsoubas et al. 2000, Kröncke et al. 2003, Lampadariou 2001, Tselepides and Eleftheriou 1992, Tselepides and Lampadariou 2004, Tselepides et al. 2000a, Tselepides et al. 2000c) λαμβάνουν χώρα στο συγκεκριμένο πεδίο για την μελέτη και εξερεύνηση της περιοχής αυτής, συμβάλλοντας με σημαντικές πληροφορίες στην γνώση των βενθικών οργανισμών.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος HERMES (Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas), οι δειγματοληψίες του οποίου ξεκίνησαν τον Απρίλιο 2004 και τελείωσαν τον Μάρτιο 2009. Το πρόγραμμα HERMES σχεδιάστηκε για την εξερεύνηση της βιοποικιλότητας, της δομής, της λειτουργίας και της δυναμικής των οικοσυστημάτων κατά μήκος των περιθωρίων των βαθιών ωκεανών της Ευρώπης. Αντιπροσωπεύει μια προσπάθεια για την εξέταση των ευρωπαϊκών οικοσυστημάτων των βαθέων υδάτων και το περιβάλλον τους με ολοκληρωμένο τρόπο, συγκεντρώνοντας βιολόγους, γεωλόγους και φυσικούς ωκεανογράφους. Το πρόγραμμα HERMES έχει ως στόχο την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ βιοποικιλότητας και λειτουργίας των οικοσυστημάτων, την πρόβλεψη της μακροπρόθεσμης απόκρισης τους στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή και την ανάπτυξη σχεδίων και στρατηγικών για την αειφόρο χρήση των θαλάσσιων πόρων. Στα πλαίσια του τεράστιου αυτού προγράμματος σκοπός του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών ήταν η έρευνα σε πολλαπλά επίπεδα (μακροβένθος, μειοβένθος, μικροβιολογία, ιζηματολογία, φυσικοχημικές παράμετροι).

Το υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς και η γειτνιάζουσα περιοχή είναι ένα οικοσύστημα που δεν έχει εξερευνηθεί ακόμα. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμη η μελέτη του περιβάλλοντος αυτού προκειμένου να γίνει μια πρώτη προσέγγιση εκτίμησης της βιοποικιλότητας της περιοχής. Συγκεκριμένα οι στόχοι αυτής της μελέτης είναι:

1. Η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της σύνθεσης της μακροπανίδας στο υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς και στις γειτονικές βαθύαλες διατομές.

2. Η σύγκριση της πανίδας μεταξύ του υποθαλάσσιου φαραγγιού της Σαμαριάς και των βαθύαλων γειτονικών πεδιάδων.

3. Η σύγκριση των βαθύτερων σταθμών του φαραγγιού όπου συγκεντρώνεται το ίζημα με αυτούς των υπόλοιπων διατομών.

4. Η συσχέτιση των ειδών που κατοικούν στην περιοχή αυτή με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές παραμέτρους.

5. Η εξαγωγή συμπερασμάτων από την σύγκριση του συγκεκριμένου οικοσυστήματος με άλλα παρόμοια οικοσυστήματα, θεωρίες και μοντέλα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

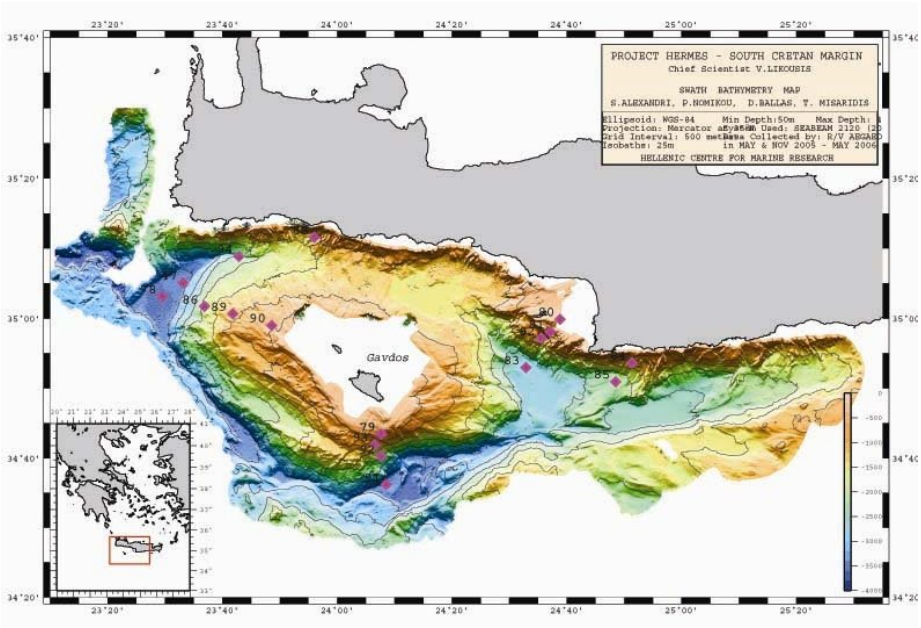
2.1 Περιοχή μελέτης

2.1.1 Η Κρήτη – Υποθαλάσσιο φαράγγι Σαμαριάς

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος και το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ανατολικής Μεσογείου, μετά την Κύπρο. Χαρακτηρίζεται ως το «σταυροδρόμι» τριών Ηπείρων, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής καλύπτοντας μια περιοχή 8.336 km^2.

Το φαράγγι της Σαμαριάς βρίσκεται στην Κρήτη, στο νομό Χανίων. Με μήκος 18 χιλιόμετρα είναι το μεγαλύτερο φαράγγι της Ευρώπης. Είναι Εθνικός Δρυμός της Ελλάδας από το 1962 και φιλοξενεί πολλά ενδημικά είδη πουλιών και ζώων. Το όνομά του το πήρε από το εγκαταλελειμμένο σήμερα χωριό της Σαμαριάς, που με τη σειρά του οφείλει το όνομά του στην εκκλησία της Οσίας Μαρίας. Το χερσαίο φαράγγι της Σαμαριάς εκτείνεται και υποθαλάσσια καταλήγοντας σε μια λεκάνη βάθους περίπου 3500 μέτρων.

Η περιοχή μελέτης που επιλέχτηκε είναι το υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς, που βρίσκεται στο βόρειο μέρος του Λιβυκού Πελάγους (Νότιο Αιγαίο – Βορειοανατολική Μεσόγειος), νότια της Κρήτης (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Η περιοχή μελέτης και οι σταθμοί δειγματοληψίας.

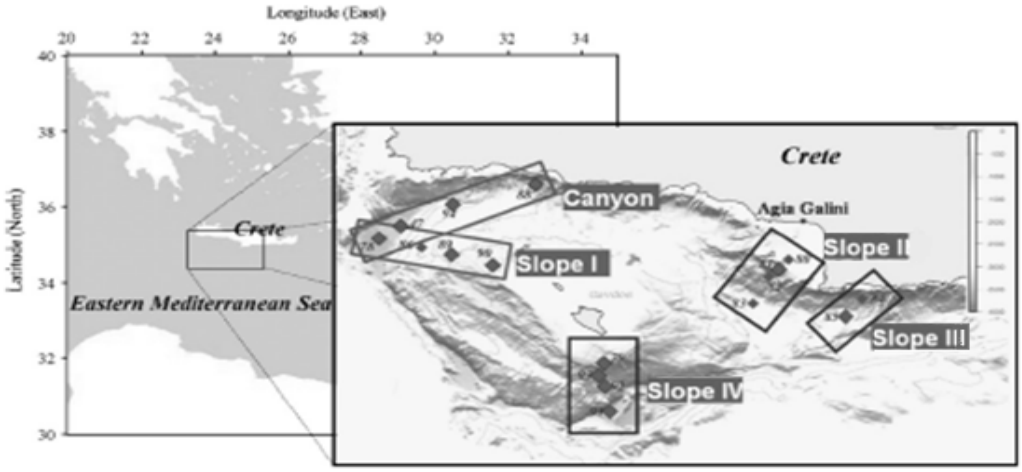
2.2 Στρατηγική δειγματοληψίας

2.2.1 Σταθμοί Δειγματοληψίας – Τεχνικές Πεδίου

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 2006 με το ερευνητικό σκάφος «*Αιγαίο»* (μήκος 61.5 m, πλάτος 9.6 m, βύθισμα 2.9 m) του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε), στα πλαίσια του προγράμματος HERMES (Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas).

Για τις ανάγκες της μελέτης ελήφθησαν δείγματα πανίδας από ένα σύνολο 17 σταθμών δειγματοληψίας καθώς και επιπλέον δείγματα ιζήματος για τη μέτρηση και ανάλυση διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι σταθμοί αυτοί ήταν κατανεμημένοι σε 5 διατομές (transects). Οι διατομές που επελέγησαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 2 και ήταν οι εξής: μία μέσα στο φαράγγι με τέσσερις σταθμούς με κωδικούς 88, 94, 47, 78, μία δυτικά της Γαύδου (διατομή I) με κωδικούς σταθμών 90, 89 και 86, μία νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης (διατομή II) με κωδικούς σταθμών 80, 81, 82, 83, μία νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης (διατομή III) με κωδικούς σταθμών 84 και 85 και μία νοτιοανατολικά της Γαύδου (διατομή IV) με κωδικούς σταθμών 79, 93, 92 και 91.

Η δειγματοληψία επικεντρώθηκε στα κατώτερα σημεία του φαραγγιού και στα συστήματα του πρανούς με κατάληξη σε μια μεγάλη αναλογία βαθιών σταθμών (6 σταθμοί > 2000 m, 7 σταθμοί 1000-2000 m, 4 σταθμοί < 1000 m). Στην περιοχή δειγματοληψίας, οι σταθμοί ομαδοποιήθηκαν σε καθορισμένες περιοχές: μέσα στο φαράγγι, και σε τέσσερα συστήματα με κλίση (δυτικά της Γαύδου (διατομή I), νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης (διατομή II), νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης (διατομή III) και νοτιοανατολικά της Γαύδου (διατομή IV)), όπως φαίνεται στις Εικόνες 1 και 2. Και οι δύο διατομές, αυτή του φαραγγιού και της διατομής I καταλήγουν σε μια βαθιά λεκάνη βάθους 3600 m (St 78), η διατομή IV καταλήγει σε μια λεκάνη βάθους 3600 m (St 91) και οι διατομές της ανατολικής περιοχής δειγματοληψίας καταλήγουν σε μια λεκάνη βάθους 2670 m (St 83).

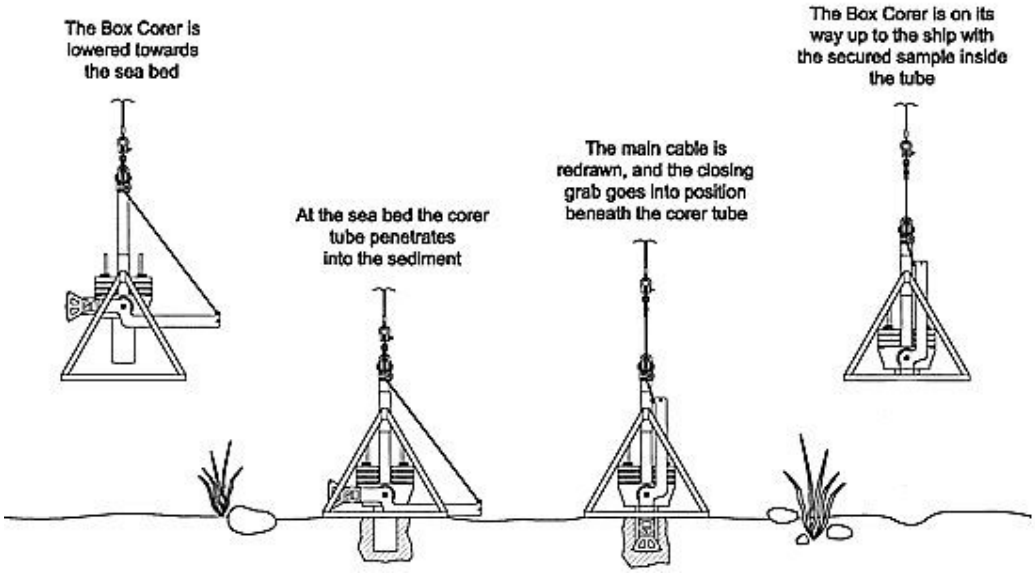


Εικόνα 2: Χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνεται η βαθυμετρία και οι σταθμοί δειγματοληψίας. Τα κουτιά υποδεικνύουν τις διατομές μέσα στο φαράγγι και στις κατωφέρειες I-IV.

Πίνακας 1: Γεωγραφικές συντεταγμένες και βαθυμετρία των σταθμών δειγματοληψίας.

Ενδιαίτημα	Κωδικός σταθμού	Βάθος (m)	Γ. πλάτος	Γ. μήκος
Φαράγγι	88	1220	35° 11.577	23° 56.045
	94	2420	35° 08.843	23° 42.891
	47	3554	35° 05.084	23° 33.159
	78	3600	35° 03.147	23° 29.534
Διατομή I	90	534	34° 59.086	23° 48.538
	89	1082	35° 00.738	23° 41.836
	86	1895	35° 01.665	23° 36.876
Διατομή II	80	215	34° 59.873	24° 38.854
	81	590	34° 58.016	24° 37.111
	82	1177	34° 57.158	24° 35.520
	83	2670	34° 52.993	24° 32.864
Διατομή III	84	1012	34° 53.65	24° 51.386
	85	2184	34° 50.940	24° 48.543
Διατομή IV	79	529	34° 43.400	24° 06.990
	93	1086	34° 41.907	24° 06.533
	92	1994	34° 40.242	24° 07.686
	91	3600	34° 36.213	24° 08.598

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με δειγματολήπτη τύπου USNEL Box-corer, ο οποίος θεωρείται ένας από τους πλέον αποτελεσματικούς δειγματολήπτες για τη συλλογή μικρών οργανισμών μια και συλλέγει σχετικά αδιατάρακτα ιζήματα επιφάνειας 0.25 m^2. Στην Εικόνα 3 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του.



Εικόνα 3: Τρόπος λειτουργίας του δειγματολήπτη τύπου Box-corer (πηγή: http://www.kc-denmark.dk).

Αμέσως μετά την άνοδο του δειγματολήπτη στο κατάστρωμα τα δείγματα διαχωρίστηκαν σε δύο στρώματα (0-5 και 5-10 cm βάθους ιζήματος), κοσκινίζονταν σε κόσκινο 300 μm και μεταφέρονταν στο εργαστήριο του σκάφους για συντήρηση και αποθήκευση. Ο διαχωρισμός γίνεται για να μετρηθεί η διείσδυση των μακροβενθικών οργανισμών στο ίζημα. Μετά το διαχωρισμό των κάθετων τμημάτων, το ίζημα

τοποθετούνταν σε κατάλληλα δοχεία με ετικέτες, όπου αναγραφόταν ο κωδικός των δειγμάτων και στη συνέχεια γινόταν προσθήκη διαλύματος φορμαλδεΰδης 4%.

2.3 Εργαστηριακές τεχνικές

2.3.1 Διαχωρισμός ιζήματος - πανίδας

Για τον διαχωρισμό των μακροβενθικών οργανισμών από το ίζημα χρησιμοποιήθηκαν δύο κόσκινα με διαφορετική διάμετρο πόρων, το ένα τοποθετημένο πάνω στο άλλο. Ένα 500 μm για το διαχωρισμό της μακροπανίδας και των αδρότερων μερών του ιζήματος και ένα 300 μm για την κατακράτηση των μικρότερων μακροβενθικών οργανισμών. Το κόσκινο των 500 μm κρίνεται αναγκαίο γιατί από μελέτες (Reish 1959) έχει φανεί ότι σε κόσκινο με το συγκεκριμένο άνοιγμα συλλέγεται το 67,7 % των ατόμων (έναντι 22,5 % με χρήση κόσκινου ανοίγματος 1000 μm). Σύμφωνα με τον Reish (1959) για την βιομάζα αρκεί κόσκινο 1400 μm (συγκρατεί το 92 % της βιομάζας). Έτσι τα δείγματα μας είναι έως ένα βαθμό συγκρίσιμα, από την άποψη αυτή, με μελέτες στις οποίες έχει γίνει χρήση κόσκινου 1000 μm. Ο Hessler εξάλλου (Hessler and Jumars 1974) χρησιμοποίησε άνοιγμα 300 μm για τη συλλογή της μακροπανίδας του κεντρικού Βόρειου Ειρηνικού, γιατί παρατήρησε ότι τα άτομα εκεί είναι τόσο μικρά ώστε να κατέχουν διαστάσεις μειοπανίδας. Γενικά έχει παρατηρηθεί μια τάση «νανισμού» στη μακροπανίδα των βαθιών περιοχών (Rowe G.T. 1971, Rowe G.T. and Menzel 1971, Sanders H.L. et al. 1965), τάση που ισχύει και για την Μεσόγειο Θάλασσα (Thiel 1975).

Στην αρχή το δείγμα τοποθετούνταν πάνω στα κόσκινα και ξεπλένονταν με άφθονο τρεχούμενο νερό έως ότου να απομακρυνθούν όλα τα μερίδια του ιζήματος. Μετά το ξέπλυμα το δείγμα συγκεντρώνονταν στη άκρη των κοσκίνων για μικρό χρονικό διάστημα ώστε να απομακρυνθεί σχεδόν ολόκληρη η ποσότητα του νερού. Μετά τη διαλογή των οργανισμών ακολουθούσε χρώση με Rose Bengal για 24 τουλάχιστον ώρες ώστε να χρωματιστούν επαρκώς οι ζωικοί οργανισμοί.

2.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων & Διαλογή Οργανισμών

Αφού τα δείγματα παρέμειναν 24 ώρες σε διάλυμα Rose Bengal, ξεβγάλθηκαν διεξοδικά με ανάδευση σε νερό για την απομάκρυνση της φορμαλδεΰδης και της υπολειπόμενης χρωστικής. Ακολούθησε η διαλογή των οργανισμών με μεγεθυντικό φακό και στερεοσκόπιο που επαναλαμβανόταν όσες φορές χρειαζόταν ώστε να εξαχθούν όλα τα άτομα.

Ο προσδιορισμός των ζώων έγινε με τη χρήση μιας λαβίδας, μιας λεπτής βελόνας, ενός στερεοσκοπίου και ενός οπτικού μικροσκοπίου και έφτανε συνήθως στο επίπεδου του είδους. Έπειτα οι οργανισμοί τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια τύπου eppendorf για τη διατήρηση των οποίων χρησιμοποιήθηκε διάλυμα αλκοόλης 70 %.

Για τον προσδιορισμό των ζώων χρησιμοποιήθηκε ένας σημαντικός αριθμός παλιών και σύγχρονων συγγραμμάτων και εργασιών που δε θεωρήθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν στη βιβλιογραφία. Οπωσδήποτε βάση για τον προσδιορισμό αποτέλεσαν οι μονογραφίες του (Day 1967) και (Fauvel 1923, 1927) για τους Πολύχαιτους, των (Bellan-Santini et al. 1982, Lincoln 1979) για τα Αμφίποδα, του (Naylor 1972) για τα Ισόποδα, του (Jones 1976) για τα Κουμώδη και των (Pancucci-Papadopoulou et al. 1999) για τα Σωληνοειδή.

2.3.3 Μέτρηση Αφθονίας & Βιομάζας

Ο προσδιορισμός της βιομάζας κάθε σταθμού έγινε συνολικά για τα είδη των κύριων ταξινομικών ομάδων και συγκεκριμένα: Πολύχαιτοι, Μαλάκια, Καρκινοειδή, Σωληνοειδή και λοιπές ομάδες (Varia). Η άποψη να ζυγιστεί η βιομάζα κατά είδος ή οικογένεια απορρίφθηκε καθώς τα περισσότερα είδη αντιπροσωπεύονταν στα δείγματα από βιομάζες μικρότερες του 0.001 gr και ακόμη γιατί ο προσδιορισμός συχνότατα βασιζόταν σε τμήμα του ζώου ενώ η ανεύρεση του υπόλοιπου σώματος ήταν δυσχερέστατη ή και αδύνατη.

Η ζύγιση του νωπού βάρους έγινε με ζυγό ακριβείας 0.0001 gr αφού προηγουμένως αφαιρέθηκε προσεκτικά με απορροφητικό χαρτί το επιφανειακό υγρό από τα άτομα κάθε ομάδας. Η μετατροπή της νωπής βιομάζας σε ξηρή έγινε με τη βοήθεια

συντελεστών μετατροπής (McIntyre and Eleftheriou 1968) και συγκεκριμένα: 15.5 % για τους Πολύχαιτους και τα Σωληνοειδή, 22.5 % για τα Καρκινοειδή, 8.5 % για τα Μαλάκια (χωρίς το κέλυφος) και 15.5 % για τα Διάφορα.

2.4 Στατιστική ανάλυση

2.4.1 Περιγραφική Στατιστική

Το περιγραφικό μέρος της ανάλυσης των δεδομένων περιελάμβανε τον υπολογισμό διαφόρων δειγμάτων στατιστικών, π.χ. μέση τιμή, τυπική απόκλιση, εύρος τιμών, για όλους τους διαφορετικούς τύπους δεδομένων, την συνοπτική παρουσίαση τους σε πίνακες και την απεικόνιση αυτών σε μορφή ιστογραμμάτων και ραβδογραμμάτων. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τις συγκεντρώσεις στο ίζημα για τα περιβαλλοντικά δεδομένα και με βάση τις αφθονίες ανά 1 m^2 επιφάνεια ιζήματος για τα πανιδικά δεδομένα. Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα EXCEL και το στατιστικό πακέτο SPSS Statistics 17.0 (IBM, USA).

2.4.2 Πολυπαραγοντική Ανάλυση

Οι φυσικές βιοκοινωνίες αποτελούνται συνήθως από ένα μεγάλο αριθμό ειδών και οι μεταβολές που παρουσιάζονται καθορίζονται από ένα σύνολο διαφορετικών περιβαλλοντικών παραγόντων έναντι των οποίων κάθε είδος αποκρίνεται διαφορετικά. Τα πανιδικά δεδομένα, λοιπόν, έχουν τη μορφή πολυδιάστατων μεταβλητών με αποτέλεσμα πληροφορία όπως είναι η σύνθεση των ειδών ή η διάρθρωση σε λειτουργικούς τύπους, να χάνεται όταν επιχειρείται μια μονοδιάστατη προσέγγιση σε αυτά. Έτσι, είναι πολύ πιθανό βιοκοινωνίες που έχουν πανομοιότυπη σύνθεση ειδών να βρούμε πως διαφέρουν, κάτι που οπωσδήποτε δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Για να ξεπεραστεί το παραπάνω πρόβλημα έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές πολυπαραγοντικής ανάλυσης όπως είναι για παράδειγμα η κατάταξη (classification), που οδηγεί στην απεικόνιση με μορφή

δενδρογραμμάτων και η διευθέτηση (ordination) που οδηγεί σε δισδιάστατη απεικόνιση καρτεσιανών συντεταγμένων.

Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές βασίζονται στον υπολογισμό της ομοιότητας με κάποιον τρόπο των δεδομένων αφθονίας ανάμεσα σε διαφορετικά δείγματα. Ο υπολογισμός αυτής γίνεται συνήθως με την κατασκευή μιας μήτρας ομοιότητας στην οποία περιλαμβάνονται όλα τα υπό εξέταση δείγματα. Ο πιο πολυχρησιμοποιημένος και πιο κατάλληλος δείκτης ομοιότητας για θαλάσσια δεδομένα (Field et al. 1982) έχει βρεθεί ότι είναι ο δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis (Bray and Curtis 1957), ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\delta_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{S} \left| Y_{ij} - Y_{ik} \right|}{\sum_{i=1}^{S} \left| Y_{ij} + Y_{ik} \right|}$$

όπου: Y_{ij}: η αφθονία του είδους i στο δείγμα j

Y_{ik}: η αφθονία του είδους i στο δείγμα k

S: ο συνολικός αριθμός ειδών

δ_{jk}: η ανομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων j και k αθροισμένη για όλα τα S είδη

$1-\delta_{jk}$: ορίζεται ως η ομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων j και k

Οι τεχνικές αυτές ταυτόχρονα με την ομοιότητα υπολογίζουν και την ανομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων η οποία είναι το ακριβώς αντίθετο, και δηλώνει το κατά πόσο δύο ή περισσότερα δείγματα διαφέρουν μεταξύ τους με βάση τη δομή της βιοκοινωνίας τους. Οι ανομοιότητες αυτές μετατρέπονται στη συνέχεια σε αποστάσεις και χρησιμοποιούνται σε διαγράμματα δύο διαστάσεων, απεικονίζοντας έτσι το πόσο κοντά ή μακριά βρίσκονται τα διάφορα δείγματα μεταξύ τους. Έτσι, δείγματα με μεγάλη ανομοιότητα θα βρίσκονται πολύ απομακρυσμένα πάνω στο διάγραμμα, ενώ δείγματα με μικρή ή μηδενική

ανομοιότητα θα βρίσκονται σχεδόν δίπλα το ένα στο άλλο. Η ομοιότητα ή ανομοιότητα ανάμεσα στα δείγματα επηρεάζεται αρκετά από τις πιθανές μεγάλες αφθονίες των πολύ κοινών ειδών. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό εφαρμόζονται συνήθως διάφοροι μετασχηματισμοί στα δεδομένα έτσι ώστε όλα τα είδη να συμμετέχουν σε έναν βαθμό στον υπολογισμό της ομοιότητας/ ανομοιότητας. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η τετραγωνική ρίζα (√). Ο παραπάνω μετασχηματισμός μειώνει σε μεγάλο βαθμό την επίδραση των πολύ άφθονων ειδών, αυξάνει τη συμμετοχή των σπανίων ενώ ταυτόχρονα δεν είναι τόσο ισχυρός ώστε να αλλοιώσει τη φύση των δεδομένων και έχει βρεθεί ότι είναι ο πλέον κατάλληλος για την επεξεργασία των βιολογικών δεδομένων (Clarke and Warwick 1994, Field et al. 1982)

- Ανάλυση ομοιότητας (*Analysis of similarity, ANOSIM*)

Το test ANOSIM (Clarke and Green 1988), χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί αν υπάρχουν διαφορές μεταξύ διαφόρων ομάδων σταθμών με κοινά είδη. Η ανάγκη χρήσης του test ξεκινάει από το γεγονός πως οι διάφορες πολυμεταβλητές τεχνικές παράγουν απλά και μόνο κάποια πρότυπα στο χώρο και δεν αποτελούν test σημαντικότητας. Το test ANOSIM είναι ουσιαστικά ένα μη παραμετρικό test το οποίο ελέγχει αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε ομάδες δειγμάτων και τις συγκρίνει με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές που πιθανόν να υπάρχουν ανάμεσα στα δείγματα που βρίσκονται μέσα σε κάθε μία από τις ομάδες αυτές, υπολογίζοντας παράλληλα την τιμή ενός στατιστικού R. Τα δείγματα που υπάρχουν μέσα στις διάφορες ομάδες ανακατεύονται στη συνέχεια σχηματίζοντας νέες ομάδες με διαφορετική σύνθεση δειγμάτων και υπολογίζεται ξανά η τιμή του στατιστικού R. Το test ANOSIM ελέγχει στη συνέχεια αν η τιμή του αρχικού στατιστικού R από τις ομάδες που ορίστηκαν στην αρχή, διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τις άλλες τιμές R (Clarke and Warwick 1994).Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του test είναι πως δεν απαιτεί τον ίδιο αριθμό επαναληπτικών δειγμάτων (replicates) μέσα σε κάθε ομάδα. Ουσιαστικά ακόμα και ένα μονάχα δείγμα είναι αρκετό αρκεί η άλλη ομάδα να έχει επαναληπτικά δείγματα.

- Ανάλυση Ομαδοποίησης (*Cluster analysis*)

Η ομαδοποίηση έχει το πλεονέκτημα να διακρίνει ομάδες δειγμάτων και να δίνει μια εύκολα αντιληπτή εικόνα των ομάδων αυτών ενώ το σχήμα που προκύπτει (δενδρόγραμμα) παραμένει σε γενικές γραμμές σταθερό ακόμα και μετά την πρόσθεση ή αφαίρεση δειγμάτων από την ανάλυση. Υπάρχει πληθώρα μεθόδων ομαδοποίησης (*hierarchical agglomerative methods*), στην παρούσα μελέτη παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ομαδοποίησης του μέσου όρου (*average linkage*), με την οποία η ομοιότητα μεταξύ δύο ομάδων δειγμάτων ορίζεται ως η μέση ομοιότητα μεταξύ όλων των δυνατών ζευγών δειγμάτων (Field et al. 1982). Η ανάλυση ομαδοποίησης, χρησιμοποιεί τη μήτρα ομοιότητας για να κατατάξει τα δείγματα σε ομάδες έτσι ώστε σε κάθε ομάδα να συνυπάρχουν τα δείγματα με τη μεγαλύτερη ομοιότητα. Στη συνέχεια, μειώνοντας το επίπεδο ομοιότητας όλο και περισσότερο, ομαδοποιεί κάποιες από τις ομάδες έως ότου στο τελικό σημείο όλες οι ομάδες να ανήκουν σε ένα κλάδο του δενδρογράμματος. Το αποτέλεσμα της μεθόδου, λοιπόν, είναι ένα διάγραμμα (δενδρόγραμμα) όπου ο άξονας x αντιπροσωπεύει το βαθμό ομοιότητας μεταξύ των ομάδων ενώ στον άξονα y απεικονίζεται ένας πλήρης κατάλογος με όλα τα δείγματα τα οποία συμμετέχουν στην ανάλυση.

Στην παραπάνω μέθοδο ωστόσο παρατηρούνται και ορισμένα μειονεκτήματα. Η δημιουργία ομάδων, για παράδειγμα, δεν συνεπάγεται αυτομάτως και συγγένεια μεταξύ των δειγμάτων μια και ομάδες δημιουργούνται ούτως ή άλλως. Επιπλέον, η ομαδοποίηση στον άξονα y δεν είναι μοναδική με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να συμπεράνουμε εύκολα ποιες ομάδες ή ποια δείγματα μέσα στις ομάδες είναι πιο κοντινά μεταξύ τους. Τέλος, ο χρήστης καλείται να αποφασίσει μόνος του που θα ορίσει τη διαχωριστική γραμμή διάκρισης των ομάδων.

- <u>Πολυδιάστατη διαβάθμιση (Multi-dimensional Scaling, MDS)</u>

Η MDS είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε κυρίως από τις επιστήμες της ψυχολογίας και της κοινωνιολογίας (Kruskal and Wish 1978), παρόλα αυτά έχει μεγάλη εφαρμογή και στις βιολογικές επιστήμες. Με την MDS δημιουργείται ένα διάγραμμα όπου απεικονίζονται τα n δείγματα σε ένα καθορισμένο αριθμό διαστάσεων (συνήθως δύο). Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε έναν αλγόριθμο ο οποίος εκτελεί διαδοχικές δοκιμές και

συγκρίσεις των αποστάσεων των δειγμάτων, βελτιώνοντας συνεχώς τις σχετικές τους θέσεις έως ότου βρεθεί ο βέλτιστος δυνατός συνδυασμός που να ικανοποιεί τις ανομοιότητες η οποίες υπάρχουν μεταξύ των δειγμάτων. Τα βήματα που ακολουθούνται από τον συγκεκριμένο αλγόριθμο σε γενικές γραμμές είναι τα εξής: αρχικά τοποθετούνται όλα τα δείγματα πάνω στο δισδιάστατο διάγραμμα σε τυχαίες θέσεις. Ακολουθεί μια μη γραμμική παλινδρόμηση ανάμεσα στις αποστάσεις που υπάρχουν μεταξύ των σημείων και των ανομοιοτήτων τους. Γίνονται αλλαγές και δοκιμές των αρχικών τυχαίων σημείων έως ότου βρεθεί η βέλτιστη δυνατή παλινδρόμηση. Ο βαθμός προσαρμογής της απεικόνισης των σημείων (δειγμάτων) με την ομοιότητά τους εκφράζεται με ένα μέγεθος το οποίο ονομάζεται stress.

Γενικά μια σχετικά μικρή τιμή του stress δηλώνει μια επιτυχημένη απεικόνιση (Clarke, 1993):

- Για stress<0,05 η διάταξη των δειγμάτων δίνει μια άριστη απεικόνιση των σχέσεων τους, χωρίς πιθανότητες παρερμηνείας.
- Για stress<0,1 η διάταξη των δειγμάτων δίνει καλή απεικόνιση με ελάχιστες πιθανότητες παρερμηνείας.
- Για stress<0,2 η διάταξη των δειγμάτων μπορεί να βοηθήσει, αλλά τα συμπεράσματα πρέπει να διασταυρωθούν με κάποια άλλη μέθοδο.
- Για stress<0,3 η διάταξη των δειγμάτων είναι σχεδόν τυχαία πάνω στο διάγραμμα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της τεχνικής MDS είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιεί ίσως την πιο κατάλληλη πληροφορία που μπορεί κανείς να βρει ανάμεσα σε διαφορετικά δείγματα, το κατά πόσο δηλαδή τα δείγματα αυτά είναι όμοια ή ανόμοια μεταξύ τους. Τέλος, δεν προϋποθέτει κανονικότατα κατανομής και ομοιογένεια διασπορών (Clarke and Green 1988). Τόσο για την κατασκευή δενδρογραμμάτων όσο και για την κατασκευή διαγραμμάτων MDS χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ομοιότητας Bray-Curtis (Bray and Curtis 1957).

- Σύνδεση Βιοτικών και Αβιοτικών Παραμέτρων με τη μέθοδο BIO-ENV

Η μέθοδος BIO-ENV (Clarke and Ainsworth 1993), εξετάζει τις σχέσεις ανάμεσα στα πανιδικά δεδομένα μιας βιοκοινωνίας και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Πρόκειται για μια μέθοδο ιδιαίτερα αποτελεσματική για τα θαλάσσια δεδομένα. Τα σύνολα των βιοτικών και αβιοτικών δεδομένων δέχονται μετασχηματισμούς και στη συνέχεια υπολογίζονται ανεξάρτητα οι μήτρες ομοιότητας. Για τα μεν πανιδικά δεδομένα χρησιμοποιείται ο δείκτης Bray-Curtis ενώ οι αποστάσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων υπολογίζονται γεωμετρικά (Ευκλείδειες αποστάσεις). Η μήτρα ομοιότητας των πανιδικών δεδομένων υπολογίζεται μία φορά ενώ η μήτρα των αβιοτικών υπολογίζεται τόσες φορές όσοι είναι και οι πιθανοί συνδυασμοί των παραμέτρων και για κάθε επίπεδο πολυπλοκότητας (δηλαδή αρχικά κατασκευάζονται μήτρες με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς 2 παραγόντων, μετά με 3, κ.ο.κ.).

Κατά την διαδικασία αυτή υπολογίζεται ένας συντελεστής συσχέτισης (ρ_w) ανάμεσα στις μήτρες των βιοτικών και των αβιοτικών παραμέτρων. Έτσι τελικά επιλέγεται ένα υποσύνολο από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους το οποίο δίνει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τη μήτρα των πανιδικών δεδομένων και το οποίο εξηγεί καλύτερα τη δομή της συγκεκριμένης βιοκοινωνίας.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν συνδέεται άμεσα με τη μέθοδο MDS που επιλέγεται, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση ανεξάρτητης τεχνικής απεικόνισης των πανιδικών δεδομένων. Παρόλα αυτά ένα μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι στην αρκετά συνηθισμένη περίπτωση που κάποιες από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους συσχετίζονται μεταξύ τους θα πρέπει αυτές να εξαιρεθούν από την ανάλυση.

- Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ειδών

Σε πολλές οικολογικές μελέτες παρουσιάζει ενδιαφέρον ο καθορισμός των ειδών που είναι υπεύθυνα για τις παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των συναθροίσεων. Για τον προσδιορισμό των ειδών αυτών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SIMPER (Clarke and Ainsworth 1993). Με τη συγκεκριμένη μέθοδο μπορεί να υπολογιστεί η συμμετοχή του κάθε είδους χωριστά στη συνολική μέση ανομοιότητα που υπάρχει μεταξύ δύο ομάδων

δειγμάτων, καθώς και η συμμετοχή κάθε είδους στη συνολική ομοιότητα που υπάρχει μέσα στην κάθε ομάδα. Με τον τρόπο αυτό, αφενός, εντοπίζουμε τα είδη στα οποία οφείλεται ο διαχωρισμός των δειγμάτων σε διακριτές ομάδες, αφετέρου, διαπιστώνουμε ποια είδη είναι χαρακτηριστικά κάθε ομάδας με την έννοια της μεγάλης συμμετοχής τους στην συνολική ομοιότητα εντός της ομάδας.

2.4.3 Ανάλυση Ποικιλότητας

Προκειμένου να περιγραφεί αναλυτικότερα η δομή μιας συνάθροισης εφόσον η αφθονία κάθε είδους ποικίλει, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες ποικιλότητας (Magurran 1988) οι οποίοι εκτιμούν την ποικιλότητα λαμβάνοντας υπόψη δύο σημαντικά στοιχεία: α) τον αριθμό των ειδών (*species richness*) και β) το βαθμό της ισομερούς κατανομής των ατόμων ανάμεσα στα είδη ή αλλιώς ομοιομορφία (*equitability ή eveness*). Οι δείκτες αυτοί περιγράφονται από τον όρο *δείκτες ετερογένειας* και καθένας τους δίνει περισσότερη βαρύτητα στο ένα από τα δύο παραπάνω στοιχεία της ποικιλότητας χωρίς να έχει βρεθεί ακόμα ένας δείκτης που να περιγράφει ολοκληρωμένα και τα δύο αυτά στοιχεία.

Η αντίδραση μιας βιοκοινωνίας σε μια μη καταστροφική διατάραξη, πολύ πιθανόν να είναι μια αλλαγή στο βαθμό της ισομερούς κατανομής των ειδών της, καθώς ορισμένα είδη θα ωφεληθούν και θα ευδοκιμήσουν ενώ άλλα θα περιέλθουν σε δυσμενείς συνθήκες. Κατά συνέπεια, δείκτες που δίνουν μεγαλύτερο βάρος στο βαθμό ισομερούς κατανομής είναι μάλλον πιο ικανοί να περιγράφουν ήπιες διαταραχές. Αντιθέτως, συγκρίνοντας δύο εντελώς διαφορετικές βιοκοινωνίες μεταξύ τους με διαφορετικά σύνολα ειδών, τότε το γεγονός πως ο βαθμός της ισομερούς κατανομής θα διαφέρει ανάμεσα στις δύο βιοκοινωνίες είναι ουσιαστικά χωρίς νόημα. Έτσι, αν μια διατάραξη είναι αρκετά ισχυρή ώστε να αλλάξει εντελώς τον κατάλογο των ειδών μιας βιοκοινωνίας τότε μας είναι αδύνατον να προβλέψουμε το βαθμό της ισομερούς κατανομής της νέας βιοκοινωνίας. Σε αυτήν την περίπτωση οι δείκτες που βασίζονται περισσότερο στον αριθμό των ειδών είναι πολύ πιθανόν να είναι πιο χρήσιμοι.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Shannon (H’) και Margalef (d), οι οποίοι δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον αριθμό των ειδών και ο Pielou (J’), ο οποίος δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο βαθμό της ισομερούς κατανομής.

- Ο δείκτης Shannon-Wiener (H') (Shannon and Weaver 1949)

Ο δείκτης αυτός έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο από όλους τους άλλους δείκτες στην ανάλυση των βιοκοινωνιών. Η κατώτερη τιμή που μπορεί να πάρει είναι μηδέν, όταν όλα τα άτομα ανήκουν σε ένα και μοναδικό είδος. Αντίθετα δεν έχει μέγιστη τιμή εκτός από τη θεωρητική περίπτωση όπου όλα τα είδη έχουν ακριβώς τον ίδιο αριθμό ατόμων. Ο δείκτης Shannon-Wiener (H') υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} (p_i)(Log_2 p_i)$$

όπου: S = ο αριθμός των ειδών του δείγματος

p_i= η σχετική πυκνότητα του είδους i

Ο δείκτης αυτός προϋποθέτει ότι τα άτομα του δείγματος συλλέγονται τυχαία από πολύ μεγάλους (άπειρους) πληθυσμούς και ότι όλα τα είδη της βιοκοινωνίας αντιπροσωπεύονται. Επειδή όμως κάτι τέτοιο είναι αδύνατον, ενώ συνήθως ο αριθμός των ατόμων στο δείγμα είναι μικρότερος του πραγματικού, ο δείκτης περικλείει υποκειμενική εκτίμηση. Επηρεάζεται δηλαδή πολύ από το μέγεθος του δείγματος.

- Ο δείκτης Margalef (d) (Margalef 1958)

Ο δείκτης του Margalef εκφράζει τον αριθμό των ειδών σε μια οργανισμική συνεύρεση και επηρεάζεται από το μέγεθος του δείγματος (Hairstone 1959). Είναι επίσης από τους πλέον χρησιμοποιούμενους στη θαλάσσια οικολογία και εκφράζει τον αριθμό των ειδών στο δείγμα. Παρόλο που λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος του δείγματος επηρεάζεται αρκετά από αυτό με αποτέλεσμα να παρουσιάζει και αυτός τα ίδια προβλήματα με το δείκτη του Shannon-Wiener (H'). Ο δείκτης του Margalef υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$d = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

όπου: S = ο αριθμός των ειδών του δείγματος

N = ο αριθμός των ατόμων του δείγματος

- Ο δείκτης της ισομερούς κατανομής Pielou (J') (Pielou 1969)

Οι δείκτες ισομερούς κατανομής περιγράφουν πως κατανέμονται τα άτομα ανάμεσα στα είδη. Ένας τρόπος να εκτιμηθεί το μέγεθος αυτό είναι χρησιμοποιώντας το δείκτη H και υπολογίζοντας το λόγο της παρατηρούμενης ποικιλότητας προς τη θεωρητική μέγιστη H_{max} η οποία επιτυγχάνεται όταν όλα τα είδη μιας βιοκοινωνίας έχουν ακριβώς τον ίδιο αριθμό ατόμων. Φυσικά, επειδή στους υπολογισμούς συμμετέχει και ο αριθμός των ειδών που έχουμε στο δείγμα μας, ο δείκτης αυτός εξαρτάται επίσης από το μέγεθος του δείγματος. Ένα άλλο μειονέκτημα του δείκτη αυτού είναι πως είναι πολύ ευαίσθητος στις αλλαγές του αριθμού (πρόσθεση-αφαίρεση) των πολύ σπάνιων ειδών του δείγματος (Heip et al. 1988). Ο δείκτης J υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{H'}{Log_2 S}$$

όπου H = ο δείκτης ποικιλότητας του Shannon χρησιμοποιώντας Log_2.

2.5 Λογισμικό

Οι στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων, περιβαλλοντικών και πανιδικών, πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον Windows XP. Για την κατασκευή τον πινάκων και τον έλεγχο των συσχετίσεων έγινε χρήση του λογισμικού Microsoft Office Excel και του στατιστικού πακέτου SPSS Statistics 17.0 (IBM, USA) ενώ για τις πολυπαραγοντικές αναλύσεις έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου Primer v.6.1.5 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*).

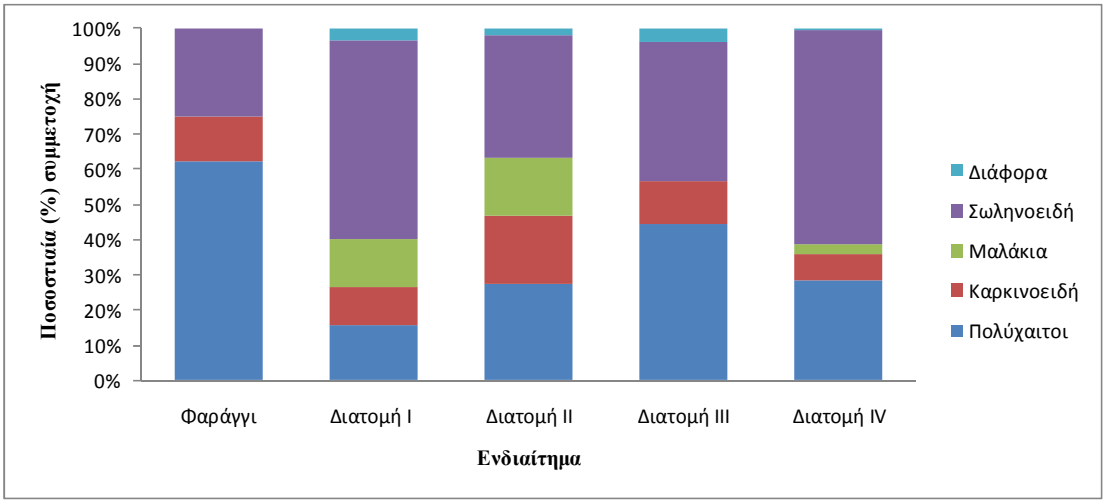
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μακροπανίδα

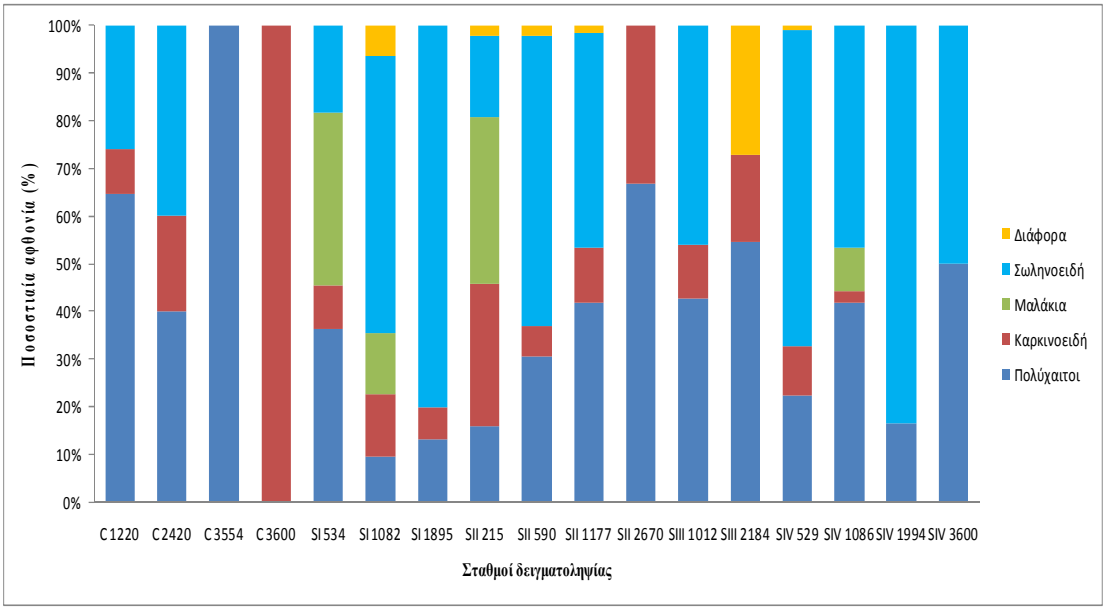
3.1.1 Είδη-αφθονία

Η ανάλυση των πανιδικών δειγμάτων όλων των διατομών απέδωσε συνολικά 2056 άτομα και 100 είδη: από αυτά τα 45 ήταν Πολύχαιτοι, τα 30 Καρκινοειδή, τα 9 Μαλάκια, τα 8 Σωληνοειδή και 8 είδη άλλων ομάδων, με το σύνολο των μακροπανιδικών οργανισμών να ζει στα πέντε πρώτα εκατοστά του ιζήματος. Γενικότερα, η κυρίαρχη ταξινομική ομάδα ήταν αυτή των Σωληνοειδών με τη μεγαλύτερη συμμετοχή τους να εμφανίζεται στην Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου) με ποσοστό περίπου 60% και την μικρότερη στην διατομή του Φαραγγιού με ποσοστό περίπου 25% (Εικόνες 4, 6). Η δεύτερη σε αφθονία ομάδα ήταν αυτή των Πολυχαίτων με την μεγαλύτερη τιμή τους να εμφανίζεται στην διατομή του Φαραγγιού, σε ποσοστό 62% και την μικρότερη στην Διατομή I (δυτικά της Γαύδου), με ποσοστό περίπου 15%. Οι υπόλοιπες ταξινομικές ομάδες (Μαλάκια, Καρκινοειδή και άλλες ομάδες) εμφάνισαν μικρότερα ποσοστά αφθονίας.

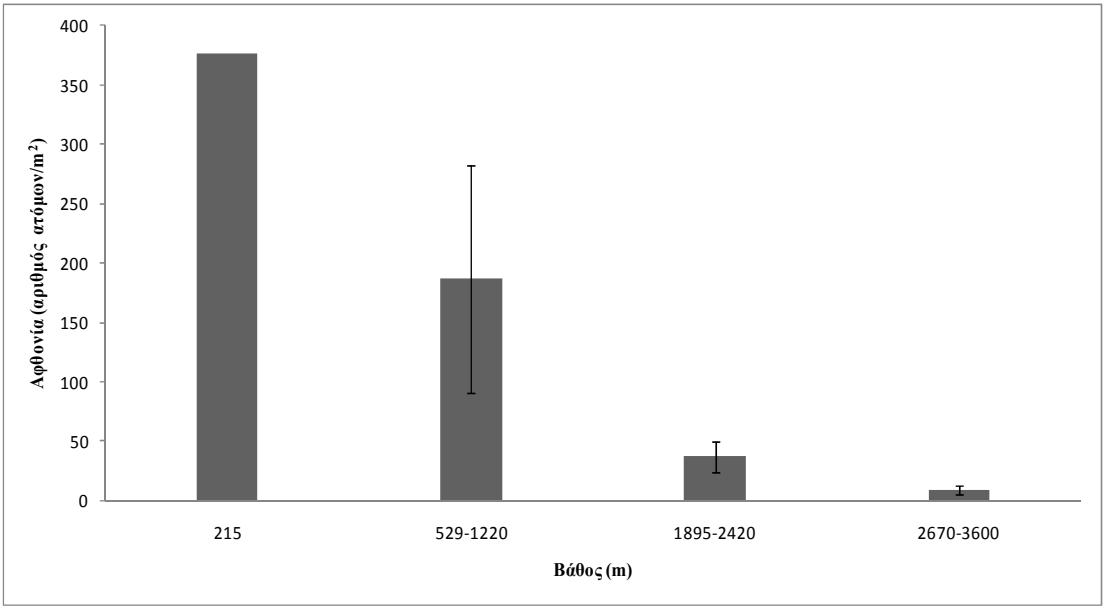
Στην διατομή του Φαραγγιού η αφθονότερη ομάδα ήταν αυτή των Πολυχαίτων και των Καρκινοειδών. Σε βάθος 3554 m εμφανίστηκε μόνο η ομάδα των Πολυχαίτων ενώ στα 3600 m μόνο αυτή των Καρκινοειδών (Εικόνα 5). Στην Διατομή I και II αφθονότερη ομάδα ήταν αυτή των Σωληνοειδών ενώ στην Διατομή III αυτή των Πολυχαίτων. Νοτιοανατολικά της Γαύδου μεγαλύτερο αριθμό ατόμων/m^2 εμφάνισε η ομάδα των Σωληνοειδών.



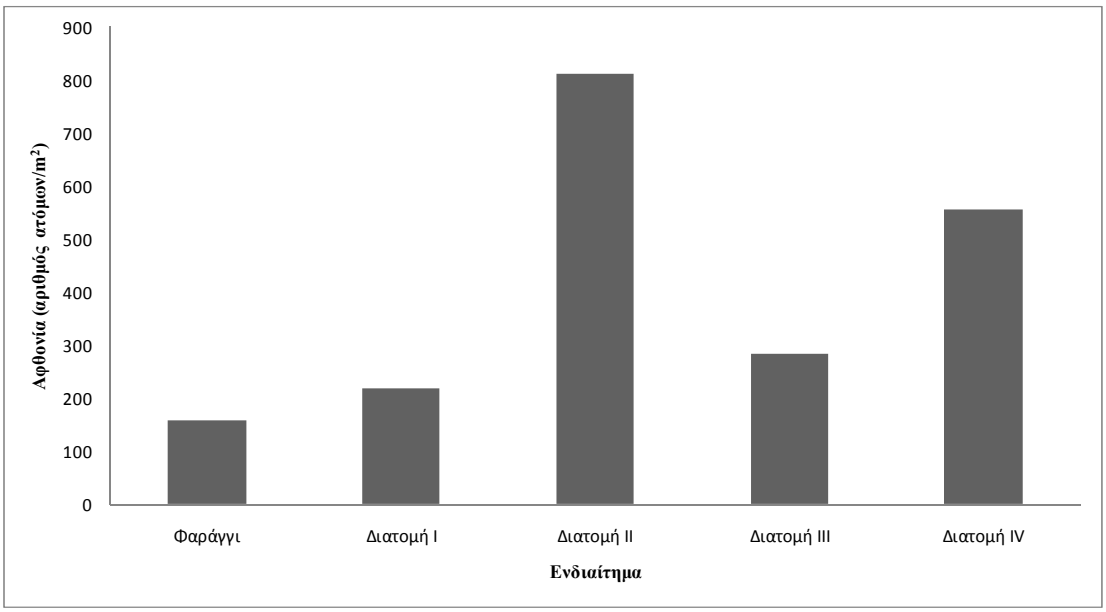
Εικόνα 4: Ποσοστιαία (%) συμμετοχή των κύριων ταξινομικών ομάδων των μακροπανιδικών οργανισμών ανά διατομή.



Εικόνα 5: Ποσοστιαία (%) αφθονία ανά σταθμό δειγματοληψίας. Όπου C: Φαράγγι, SI, SII, SIII, SIV: οι διατομές SI, SII, SIII και SIV αντίστοιχα. Ο αριθμός δίπλα σε κάθε διατομή δηλώνει το βάθος σε μέτρα.



Εικόνα 6: Μέσος όρος αφθονίας (αριθμός ατόμων/m^2) και τυπική απόκλιση συναρτήσει του βάθους.



Εικόνα 7: Συνολική αφθονία (αριθμός ατόμων/m^2) ανά διατομή.

Αφού έγινε ο διαχωρισμός των βαθών σε 4 ομάδες (215, 529-1220, 1895-2420 και 2670-3600 m), καταγράφηκε ο μέσος όρος αφθονίας ανά κατηγορία βάθους. Η βαθυμετρική κατανομή του αριθμού των ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο φάνηκε να μειώνεται σημαντικά συναρτήσει του βάθους. Ενώ στα 215 m η αφθονία του μακροβένθους έφτανε τα 370 περίπου άτομα/m^2, στα 529-1220 m ελαττώθηκε στα 180 άτομα/m^2 και στα 2670-3600 m στα 10 περίπου άτομα/m^2. Το σύνολο δηλαδή των οργανισμών παρατηρείται ότι ζει σε βάθη μικρότερα των 500 m (Εικόνα 6).

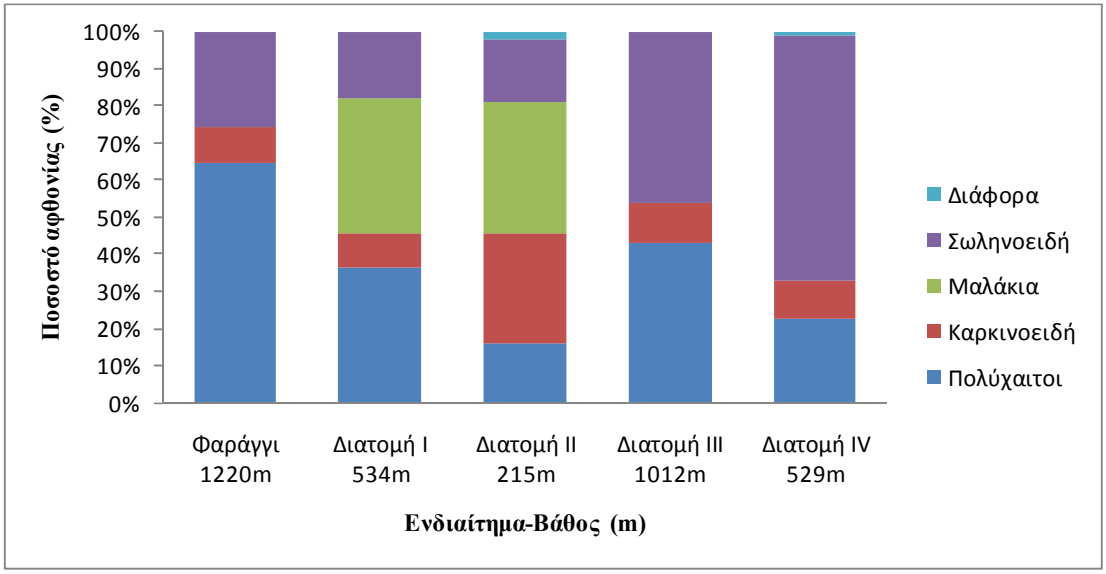
Υψηλός αριθμός οργανισμών εμφανίστηκε στην Διατομή ΙΙ (νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης) με 812 άτομα/m^2, ενώ ακολούθησε η Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου) με 556 άτομα/m^2, η Διατομή ΙΙΙ (νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης) με 284 άτομα/m^2, η Διατομή Ι (δυτικά της Γαύδου) με 220 άτομα/m^2 και τέλος το Φαράγγι με 160 άτομα/m^2 (Εικόνα 7). Όλοι οι σταθμοί είχαν το λιγότερο 160 και το περισσότερο 812 άτομα/m^2.

Στον ρηχότερο σταθμό του Φαραγγιού (1220 m) φάνηκε ότι κυρίαρχη ομάδα ήταν αυτή των Πολυχαίτων ενώ ακολουθούσαν οι ομάδες των Σωληνοειδών και Καρκινοειδών (Εικόνα 8). Στην Διατομή Ι (δυτικά της Γαύδου) στα 534 m κυριάρχησαν οι Πολύχαιτοι και τα Μαλάκια ενώ ακολούθησαν σε μικρότερο ποσοστό τα Καρκινοειδή και τα Σωληνοειδή. Στην Διατομή ΙΙ (νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης) στα 215 m κυρίαρχη ομάδα ήταν αυτή των Μαλακίων ακολουθούμενη από αυτή των Καρκινοειδών και σε ίσο περίπου ποσοστό έπονταν τα Σωληνοειδή και οι Πολύχαιτοι. Στην τρίτη διατομή (Διατομή ΙΙΙ-νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης) στα 1012 m κυριάρχησαν τα Σωληνοειδή και με μικρότερο αριθμό ατόμων οι Πολύχαιτοι και τα Καρκινοειδή. Τέλος, στην Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου) στα 529 m επικράτησε η ομάδα των Σωληνοειδών και με μικρότερη αφθονία οι Πολύχαιτοι και τα Καρκινοειδή.

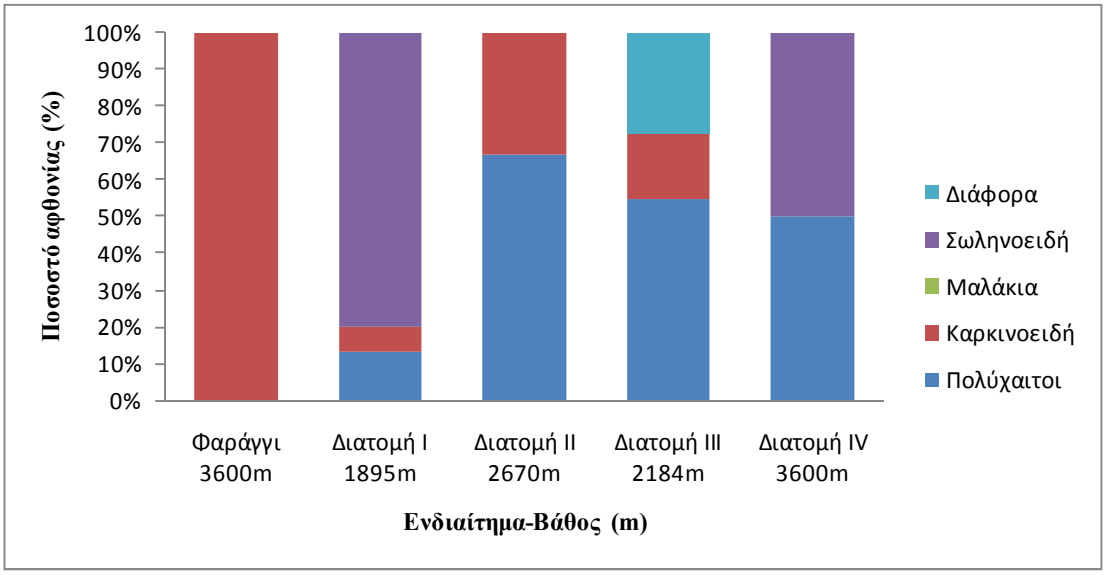
Παρόμοια, φάνηκε ότι στο βαθύτερο σταθμό του Φαραγγιού (στα 3600 m) κυριάρχησαν απόλυτα τα Καρκινοειδή, ενώ στη Διατομή Ι (δυτικά της Γαύδου) στα 1895 m, κυρίαρχη ομάδα ήταν αυτή των Σωληνοειδών ακολουθούμενη από Πολύχαιτους και Καρκινοειδή (Εικόνα 9). Στην Διατομή ΙΙ (νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης) στα 2670 m, η αφθονότερη ομάδα ήταν αυτή των Πολυχαίτων, τα οποία διαδέχτηκαν τα Καρκινοειδή. Στην τρίτη διατομή (Διατομή ΙΙΙ- νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης) στα 2184 m, εμφανίστηκαν Πολύχαιτοι και Καρκινοειδή ενώ στην Διατομή IV

(νοτιοανατολικά της Γαύδου) στα 3600 m εμφανίστηκαν Πολύχαιτοι και Σωληνοειδή με ίδια αναλογία.

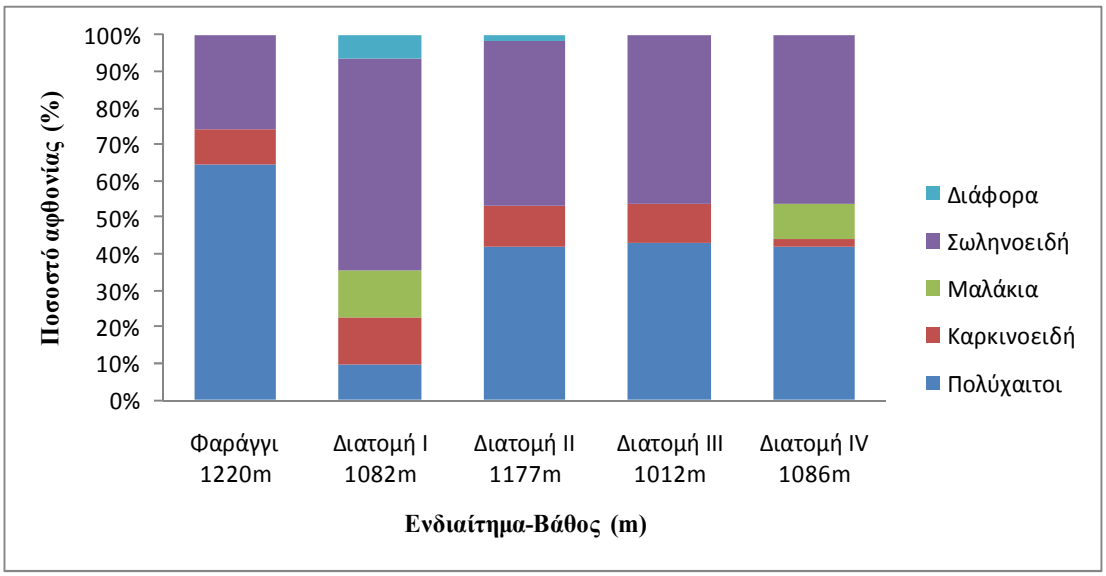
Στο Φαράγγι, σε βάθος 1220 m, εμφάνισε μεγάλο ποσοστό αφθονίας η ομάδα των Πολυχαίτων και ακολούθησαν τα Σωληνοειδή και τα Καρκινοειδή (Εικόνα 10). Στη Διατομή I (δυτικά της Γαύδου, στα 1082 m), εμφανίστηκαν όλες οι ομάδες με μεγαλύτερο ποσοστό αφθονίας αυτή των Σωληνοειδών. Στην Διατομή II (νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης), στα 1177 m, και στην Διατομή III (νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης), σε βάθος 1012 m, εντοπίστηκαν σε ίσο σχεδόν ποσοστό οι ομάδες των Πολυχαίτων και των Σωληνοειδών και σε μικρότερο ποσοστό εμφανίστηκε η ομάδα των Καρκινοειδών. Τέλος, στην Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου), στα 1086 m, εμφανίστηκαν και οι τέσσερις ομάδες με αφθονότερες αυτές των Σωληνοειδών και των Πολυχαίτων.



Εικόνα 8: Ποσοστό αφθονίας (%) της μακροπανίδας στους ρηχότερους σταθμούς ανά διατομή.



Εικόνα 9: Ποσοστό αφθονίας (%) των οργανισμών της μακροπανίδας στους βαθύτερους σταθμούς των διατομών.



Εικόνα 10: Ποσοστό αφθονίας (%) των οργανισμών της μακροπανίδας σε σταθμούς παρόμοιου βάθους ανά διατομή.

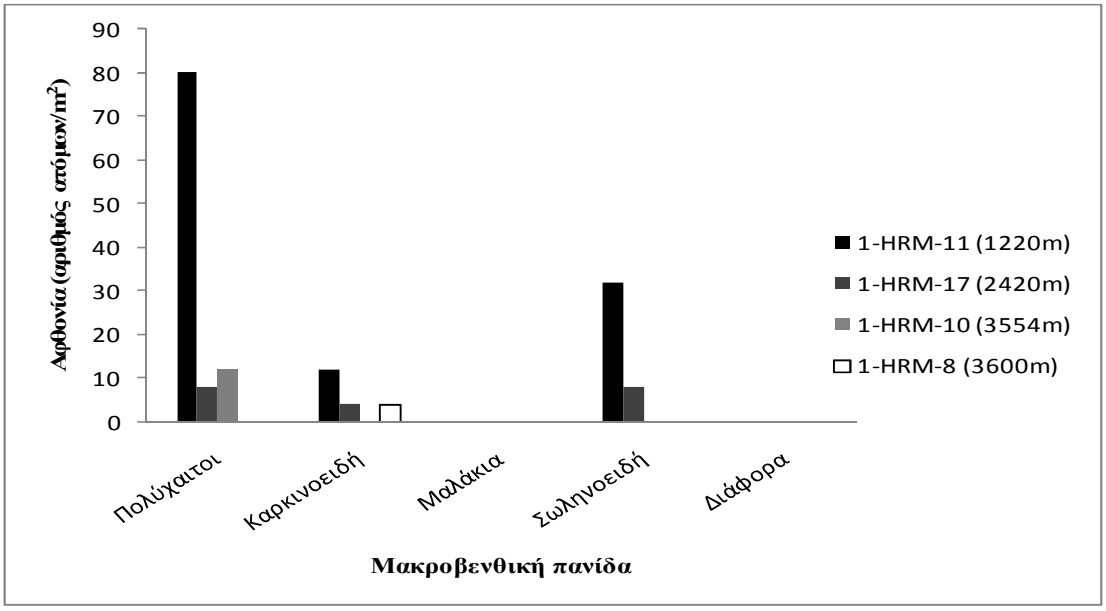
Στη διατομή του Φαραγγιού, σε βάθος 1220 m, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των ατόμων ήταν μεγαλύτερος καθώς οι Πολύχαιτοι, τα Σωληνοειδή και τα Καρκινοειδή, συναντήθηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία (Εικόνα 11). Με την αύξηση του βάθους (2420 m) μειώθηκε απότομα η αφθονία των ομάδων αυτών ενώ στα 3554 m εμφανίστηκαν μόνο Πολύχαιτοι. Στον βαθύτερο σταθμό του Φαραγγιού (3600 m) παρατηρείται ότι εμφανίστηκε μόνο η ομάδα των Καρκινοειδών. Τα Μαλάκια δεν εμφανίστηκαν σε κανένα σταθμό του Φαραγγιού.

Στην Διατομή Ι, δυτικά της Γαύδου, παρατηρήθηκε ότι στα 534 και στα 1082 m εμφανίστηκαν όλες οι μακροβενθικές ομάδες, με την διαφορά ότι στα 1082 m η αφθονία τους ήταν μεγαλύτερη και κυρίως αυτή της ομάδας των Σωληνοειδών (Εικόνα 12).

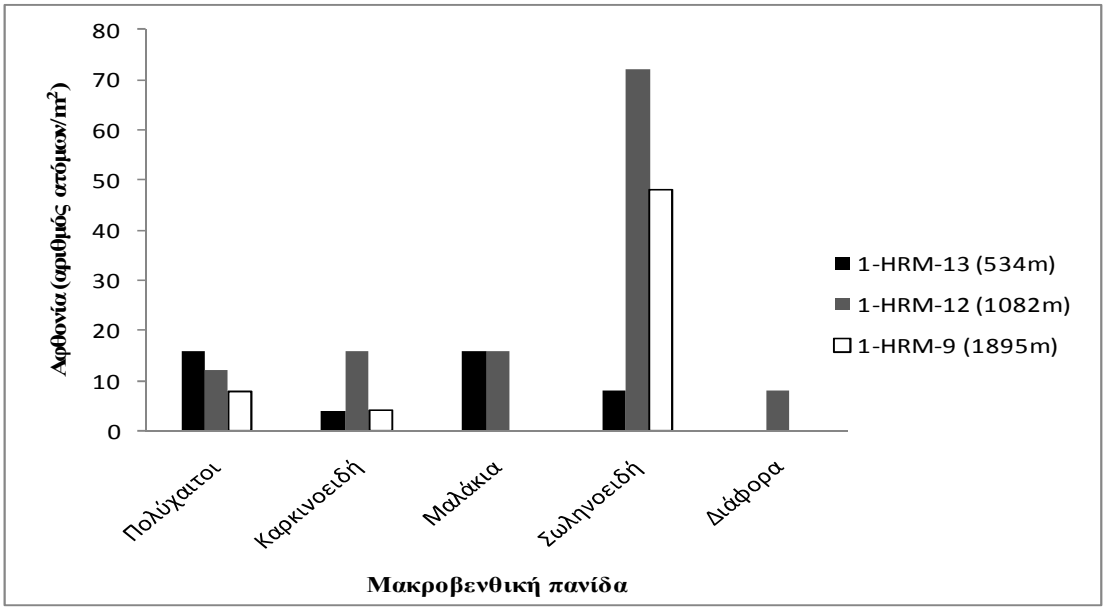
Νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης (Διατομή ΙΙ), εμφανίστηκαν όλες οι ομάδες της μακροπανίδας με υψηλότερη αφθονία των Μαλακίων και των Καρκινοειδών, ενώ στα 590 m παρατηρήθηκε ότι τα Σωληνοειδή εμφανίστηκαν με μεγαλύτερο αριθμό ατόμων (Εικόνα 13). Στα 1177 m οι Πολύχαιτοι και τα Σωληνοειδή ήταν αφθονότερα ενώ στον βαθύτερο σταθμό (2670 m) εμφανίστηκαν μόνο Πολύχαιτοι και Καρκινοειδή αλλά με αρκετά μειωμένο αριθμό ατόμων.

Νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης (Διατομή ΙΙΙ), σε βάθος 1012 m αρκετά άφθονες ήταν οι ομάδες των Πολυχαίτων και των Σωληνοειδών ενώ σε μικρότερη αφθονία εμφανίστηκαν και τα Καρκινοειδή (Εικόνα 14). Σε βάθος 2184 m μειώθηκε αισθητά η αφθονία των ομάδων αυτών ενώ μηδενική ήταν η τιμή της αφθονίας για τα Σωληνοειδή. Η ομάδα των Μαλακίων δεν εμφανίστηκε σε κανένα σταθμό της συγκεκριμένης διατομής.

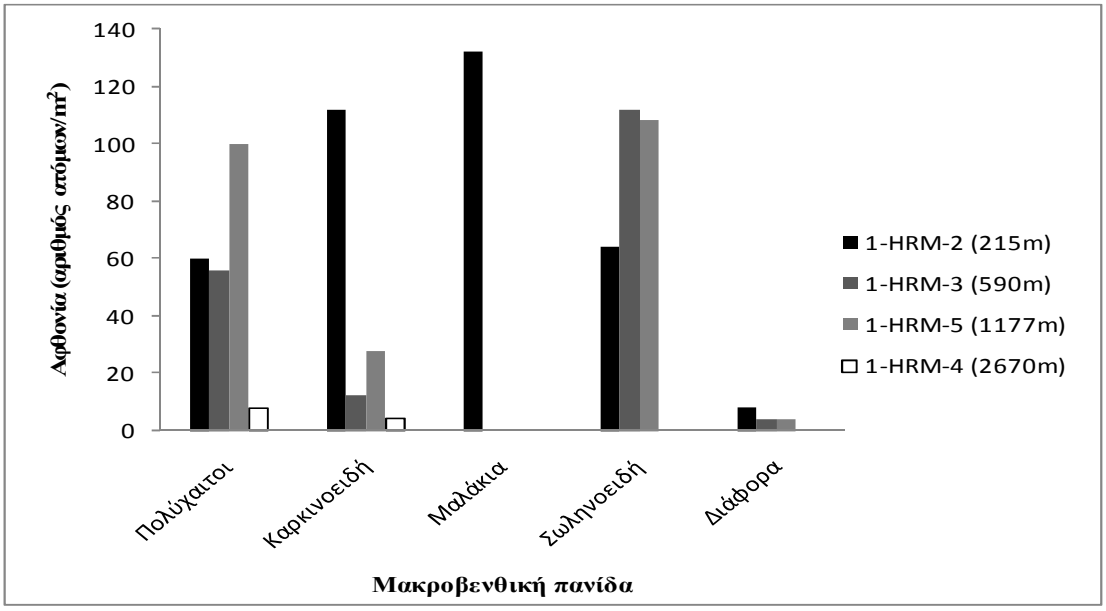
Στην τελευταία διατομή (Διατομή IV, νοτιοανατολικά Γαύδου) η αφθονία των Σωληνοειδών έφτασε τα 236 άτομα/m^2 σε βάθος 529 m ενώ μειώθηκε στα 4 άτομα/m^2 σε βάθος 3600 m (Εικόνα 15). Οι Πολύχαιτοι από τα 80 άτομα/m^2 σε βάθος 529 m ελαττώθηκαν σε 4 άτομα/m^2 σε βάθη 1994 και 3600 m. Η ομάδα των Μαλακίων εμφανίστηκε μόνο στα 1086 m.



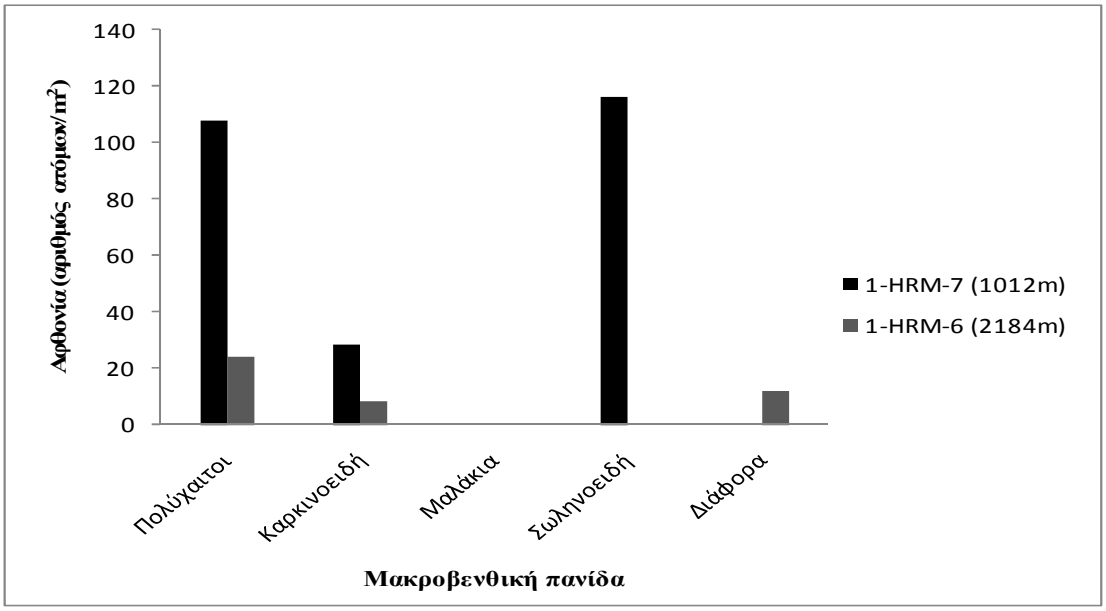
Εικόνα 11: Αφθονία μακροπανίδας στο Φαράγγι



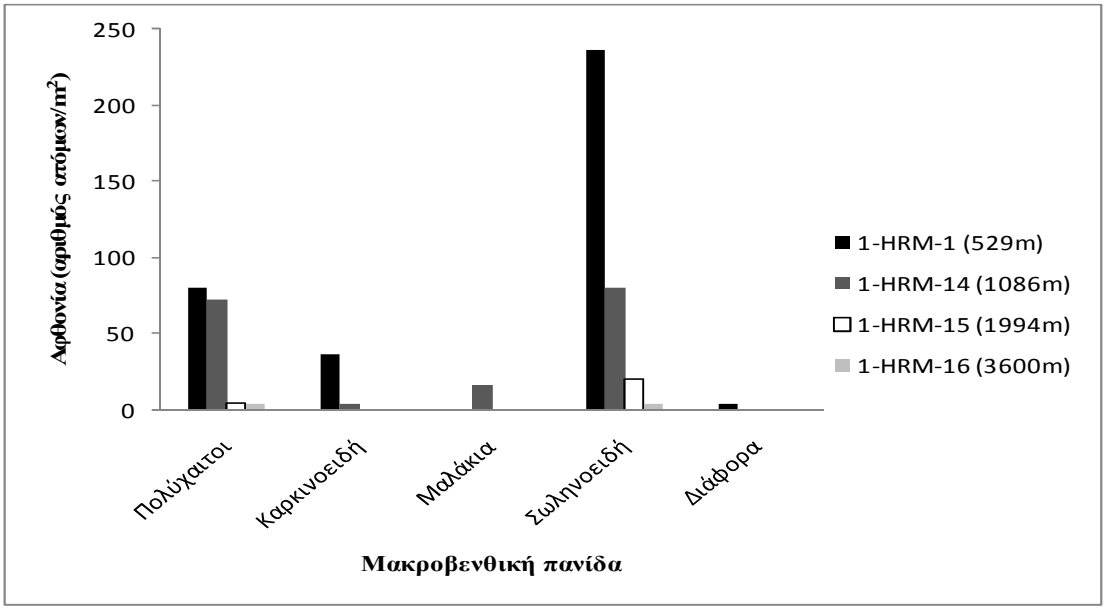
Εικόνα 12: Αφθονία μακροπανίδας στην Διατομή Ι (δυτικά της Γαύδου).



Εικόνα 13: Αφθονία μακροπανίδας στην Διατομή ΙΙ (νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης).

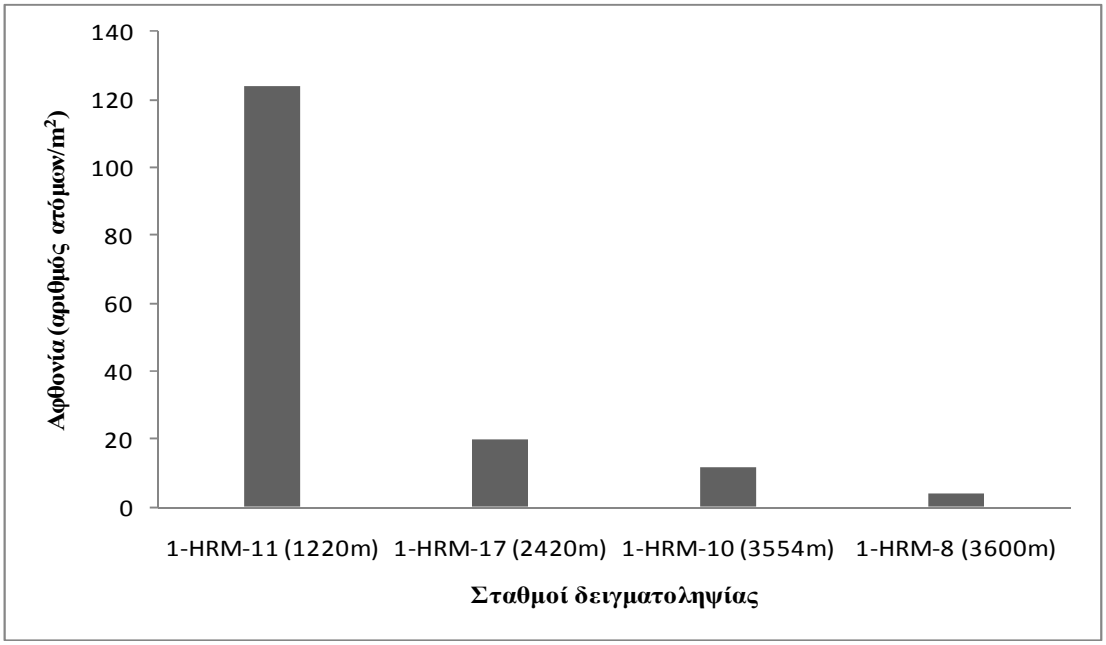


Εικόνα 14: Αφθονία μακροπανίδας στην Διατομή ΙΙΙ (νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης).

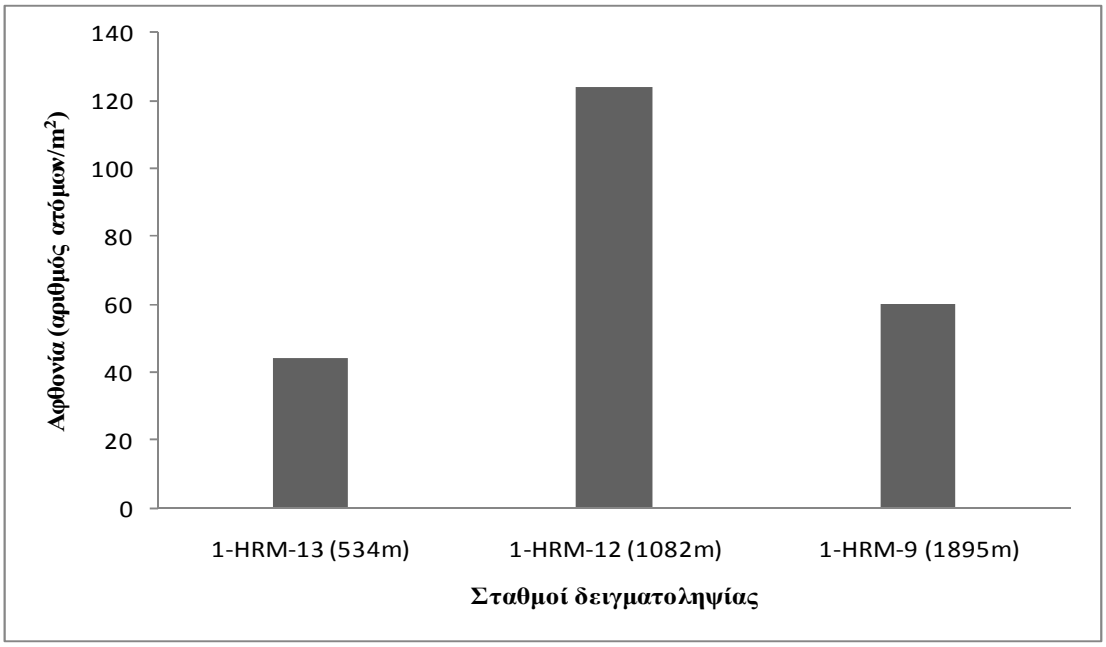


Εικόνα 15: Αφθονία της μακροπανίδας στην Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου).

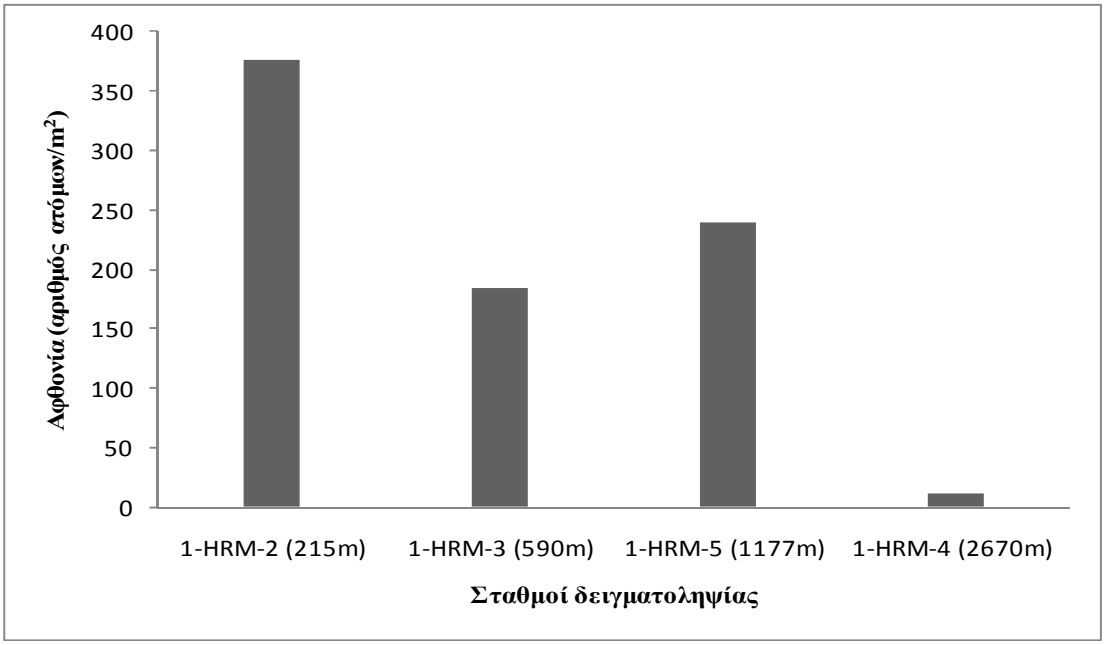
Στη διατομή του Φαραγγιού, παρατηρήθηκε το πρότυπο μείωσης της αφθονίας με το βάθος, ενώ εντυπωσιακός ήταν ο αριθμός των ατόμων των οργανισμών στα 1220 m όπου υπήρχαν 120 περίπου άτομα/m^2 ενώ σε βάθος 3600 m ο αριθμός των ατόμων ήταν 30 φορές μικρότερος (4 άτομα/m^2) (Εικόνα 16). Η αφθονία της μακροπανίδας σε βάθος 534 m (44 άτομα/m^2) ήταν μικρότερη από αυτήν σε βάθος 1082 m (124 άτομα/m^2) και μάλιστα ελαφρώς μικρότερη από αυτήν στα 1895 m (Εικόνα 17). Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 18) φάνηκε ότι η αφθονία και πάλι μειώθηκε με το βάθος καθώς από τα 376 άτομα/m^2 στα 215 m ελαττώθηκε στα 12 άτομα/m^2 στα 2670 m ενώ παρουσιάστηκε ένα δεύτερο μέγιστο στα 1177 m (Εικόνα 17). Νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης (Διατομή III), παρατηρήθηκε το ίδιο «μοτίβο»: η αφθονία μειώθηκε με το βάθος (Εικόνα 19) κάτι που φάνηκε ξεκάθαρα και στη Διατομή IV (Εικόνα 20). Αξίζει να σημειωθεί ότι στα 529 m καταγράφηκαν 356 άτομα/m^2 ενώ στα 3600 m μόλις 8 άτομα/m^2. Η αφθονία των μακροβενθικών οργανισμών ανά σταθμό δειγματοληψίας φαίνεται στον Πίνακα 2.



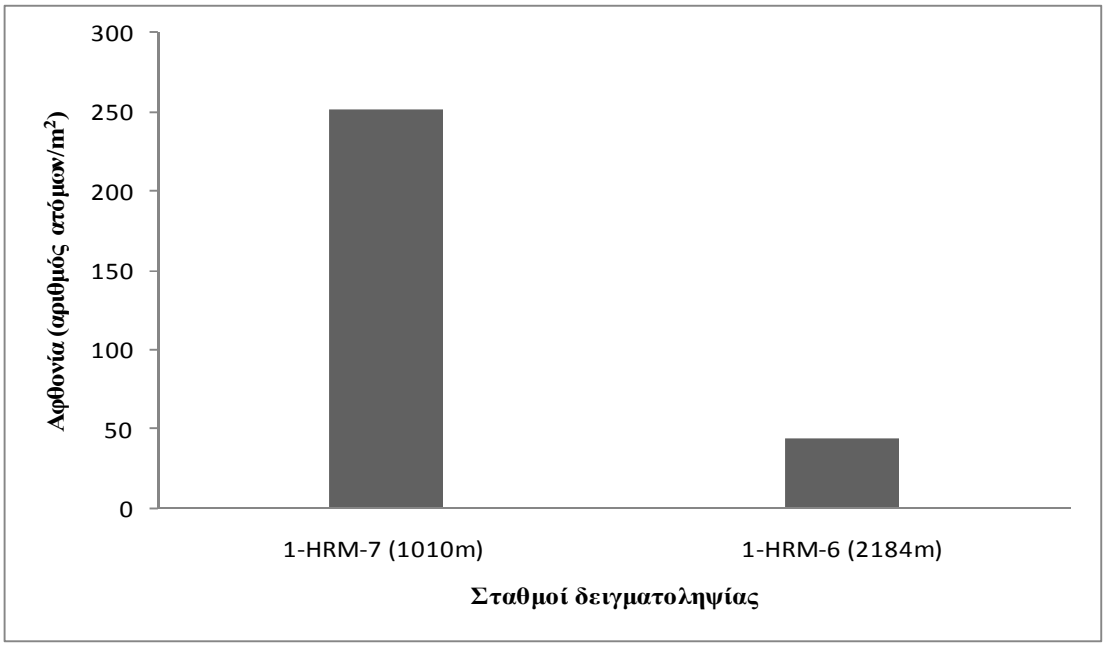
Εικόνα 16: Συνολική αφθονία στη διατομή του Φαραγγιού.



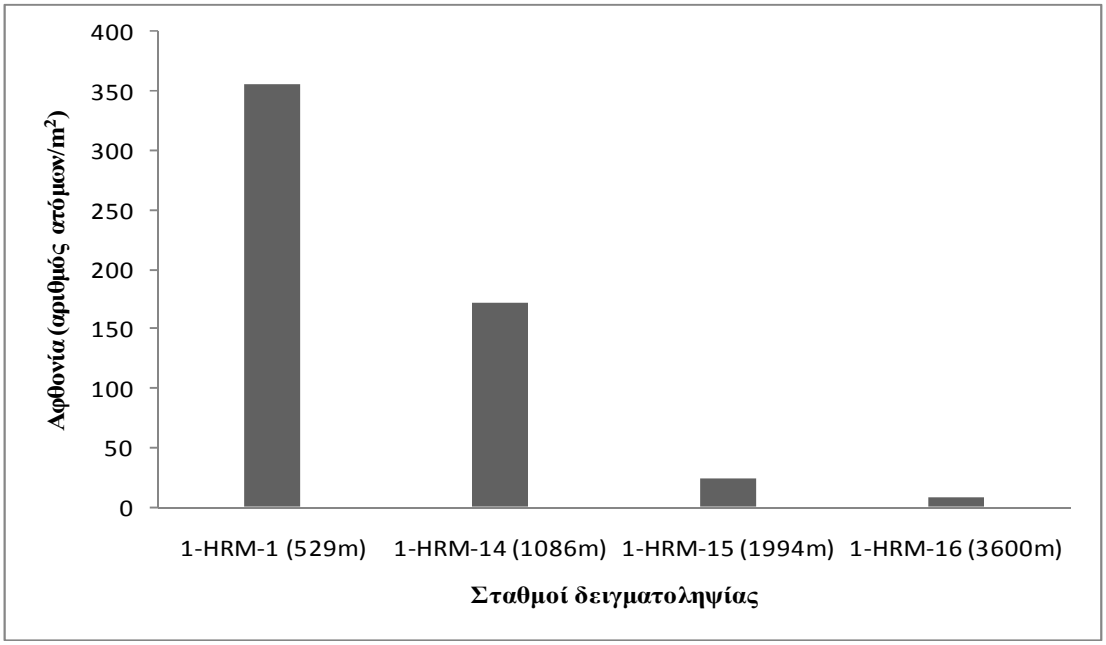
Εικόνα 17: Συνολική αφθονία στην Διατομή Ι (δυτικά της Γαύδου).



Εικόνα 18: Συνολική αφθονία στην Διατομή ΙΙ (νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης).



Εικόνα 19: Συνολική αφθονία στην Διατομή ΙΙΙ (νοτιοανατολικά του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης).



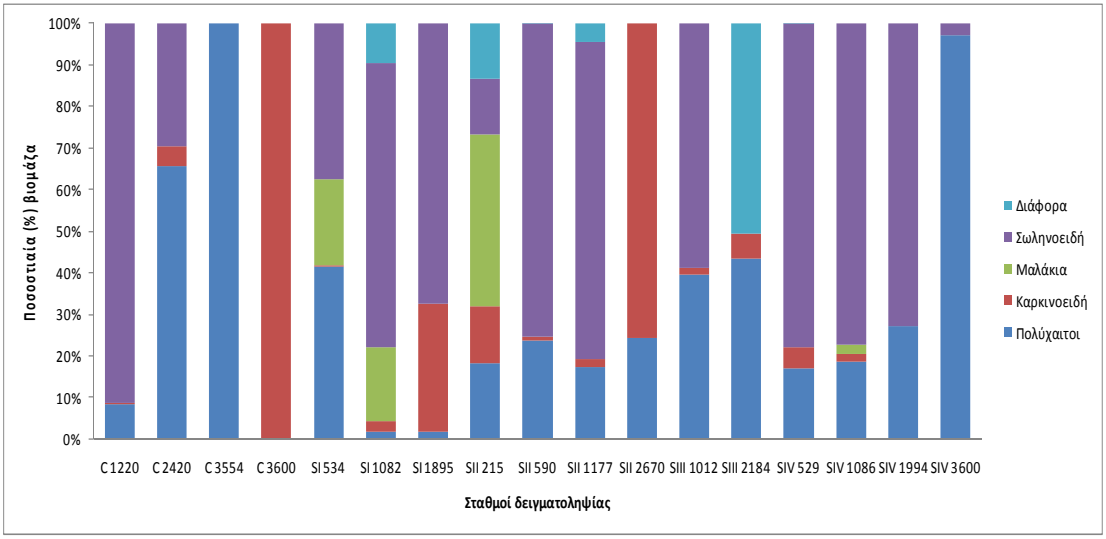
Εικόνα 20: Συνολική αφθονία στην Διατομή IV (νοτιοανατολικά της Γαύδου).

Πίνακας 2: Αφθονία (αριθμός ατόμων/m^2) οργανισμών ανά σταθμό δειγματοληψίας.

Σταθμός	Πολύχαιτοι (αρ. ατόμων)	Καρκινοειδή (αρ. ατόμων)	Μαλάκια (αρ. ατόμων)	Σωληνοειδή (αρ. ατόμων)	Διάφορα (αρ. ατόμων)
C 1220	80	12	0	32	0
C 2420	8	4	0	8	0
C 3554	12	0	0	0	0
C 3600	0	4	0	0	0
SI 534	16	4	16	8	0
SI 1082	12	16	16	72	8
SI 1895	8	4	0	48	0
SII 215	60	112	132	64	8
SII 590	56	12	0	112	4
SII 1177	100	28	0	108	4
SII 2670	8	4	0	0	0
SIII 1012	108	28	0	116	0
SIII 2184	24	8	0	0	12
SIV 529	80	36	0	236	4
SIV 1086	72	4	16	80	0
SIV 1994	4	0	0	20	0
SIV 3600	4	0	0	4	0
Σύνολο	**652**	**276**	**180**	**908**	**40**

3.1.2 Βιομάζα

Στον Πίνακα 3, φαίνεται η ξηρή βιομάζα ανά ομάδα οργανισμών, αφού έγινε η μετατροπή της από νωπή βιομάζα με τους κατάλληλους συντελεστές μετατροπής. Η μέγιστη συνολική τιμή ξηρής βιομάζας (0,12127 g/m^2) που καταγράφηκε στη διάρκεια της μελέτης αυτής, ήταν στα 215 m βάθος της Διατομής ΙΙ, νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης ενώ η ελάχιστη στα 3600 m στη διατομή του Φαραγγιού (0,00002 g/m^2). Επίσης, μεγαλύτερη βιομάζα εμφάνισε η ομάδα των Σωληνοειδών (0,186109 g/m^2) ενώ μικρότερη η ομάδα των Καρκινοειδών (0,25065 g/m^2) και των διαφόρων ομάδων (0,19468 g/m^2) (Πίνακας 3, Εικόνα 21).



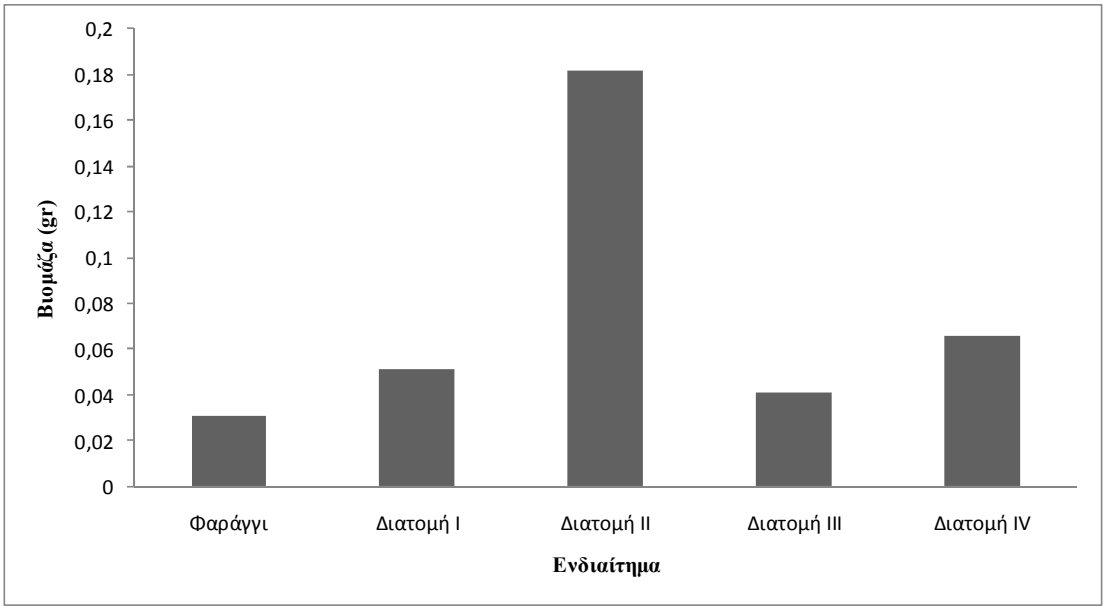
Εικόνα 21: Ποσοστό (%) της ολικής ξηρής βιομάζας για κάθε ταξινομική ομάδα. Όπου C: Φαράγγι, SI, SII, SIII, SIV: οι διατομές SI, SII, SIII και SIV αντίστοιχα. Ο αριθμός δίπλα σε κάθε διατομή δηλώνει το βάθος σε μέτρα.

Πίνακας 3: Ξηρή βιομάζα μακροπανίδας ανά σταθμό δειγματοληψίας.

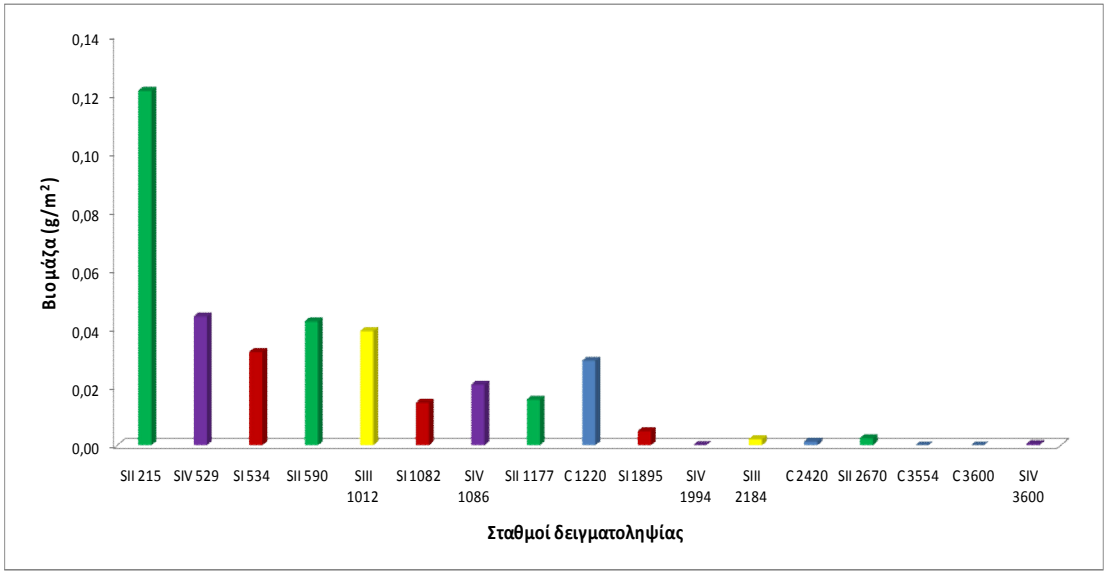
Σταθμός	Πολύχαιτοι (gr)	Καρκινοειδή (gr)	Μαλάκια (gr)	Σωληνοειδή (gr)	Διάφορα (gr)	Σύνολο
C 1220	0,00240	0,00016	0	0,02651	0	0,02907
C 2420	0,00093	0,00007	0	0,00042	0	0,00142
C 3554	0,00006	0	0	0	0	0,00006
C 3600	0	0,00002	0	0	0	0,00002
SI 534	0,01325	0,00016	0,00660	0,01200	0	0,03201
SI 1082	0,00026	0,00036	0,00263	0,01000	0,00140	0,01464
SI 1895	0,00008	0,00153	0	0,00335	0	0,00496
SII 215	0,02207	0,01672	0,05006	0,01621	0,01621	0,12127
SII 590	0,01009	0,00041	0	0,03195	0,00002	0,04246
SII 1177	0,00273	0,00027	0	0,01204	0,00070	0,01574
SII 2670	0,00060	0,00189	0	0	0	0,00249
SIII 1012	0,01550	0,00063	0	0,02303	0	0,03916
SIII 2184	0,00096	0,00014	0	0	0,00112	0,00221
SIV 529	0,00744	0,00232	0	0,03438	0,00003	0,04417
SIV 1086	0,00388	0,00041	0,00048	0,01609	0	0,02085
SIV 1994	0,00005	0	0	0,00012	0	0,00017
SIV 3600	0,00051	0	0	0,00002	0	0,00053
Σύνολο	**0,080817**	**0,025065**	**0,059772**	**0,18609**	**0,019468**	**0,37123**

Σε σύγκριση με την αφθονία ανά ταξινομική ομάδα (Εικόνα 5), παρατηρήθηκε ότι η αφθονία και η βιομάζα δεν συσχετίζονται καθώς η αύξηση της αφθονίας μιας ομάδας οργανισμών δεν συνεπάγεται και την αύξηση της βιομάζας (Εικόνα 21). Για παράδειγμα, στον πρώτο σταθμό του Φαραγγιού (1220 m), ενώ η αφθονία των Πολυχαίτων (65%) ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτή των Σωληνοειδών (25%) (Εικόνα 5) παρατηρήθηκε ότι η τιμή της βιομάζας των πρώτων ήταν πολύ μικρότερη (10%) σε σχέση με αυτή των Σωληνοειδών (σχεδόν 90% της συνολικής βιομάζας) (Εικόνα 21). Επιπλέον, στην Διατομή IV παρατηρήθηκε ότι η αφθονία των Πολυχαίτων και των Σωληνοειδών ήταν ίδια (50%) ενώ η τιμή της βιομάζας τους είχε ποσοστό 98 και 2% αντίστοιχα. Στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται η συνολική βιομάζα ανά διατομή, η οποία φαίνεται να έχει το ίδιο πρότυπο κατανομής με την συνολική αφθονία ανά διατομή (Εικόνα 7).

Γενικότερα, παρατηρήθηκε ότι όλες οι διατομές παρουσίασαν σχετικά παρόμοιο πρότυπο βαθυμετρικής κατανομής της συνολικής ξηρής βιομάζας τους (Εικόνα 23). Από τα 215 έως τα 529 m βάθος η μείωση της βιομάζας ήταν ραγδαία ενώ από τα 529 m η πτώση ήταν μικρότερη αν και από τα 1220 m η βιομάζα είχε σχεδόν μηδενικές τιμές.



Εικόνα 22: Συνολική βιομάζα ανά διατομή δειγματοληψίας.



Εικόνα 23: Βαθυμετρική κατανομή της ξηρής βιομάζας (με μπλε η διατομή του Φαραγγιού, με κόκκινο η Διατομή I, με πράσινο η Διατομή II, με κίτρινο η Διατομή III και με μωβ η Διατομή IV). Ο αριθμός δίπλα σε κάθε διατομή υποδεικνύει το βάθος σε μέτρα.

3.1.3 Κυρίαρχα είδη

Συνολικά αναγνωρίστηκαν 100 είδη (2056 άτομα) από τα οποία το κυρίαρχο είδος ήταν το Σωληνοειδές *Apionsoma murinae bilobatae* με 780 άτομα/m^2, με το μεγαλύτερο μέρος του να εμφανίζεται σε βάθη μεταξύ 529 και 1220 m. Σε βάθη μεγαλύτερα των 2670 m το είδος αυτό απουσίαζε (Πίνακας 4). Ακολουθούσε ο Πολύχαιτος *Pholoides dorsipapillatus* με 160 άτομα/m^2 με το σύνολο του να εμφανίζεται σε βάθη μεταξύ 529 και 1220 m. Τα υπόλοιπα είδη εμφανίστηκαν με πολύ μικρότερους αριθμούς κυρίως σε βάθη έως και 1220 m. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 62% της μακροβενθικής πανίδας της περιοχής δειγματοληψίας αποτελούταν από τα δέκα είδη που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Αφθονία κυρίαρχων ειδών ανά βαθυμετρική ομάδα (SIP: Σωληνοειδή, POL: Πολύχαιτοι, MOL: Μαλάκια, CRU: Καρκινοειδή.

Κυρίαρχα είδη	**Ομάδα ταξινόμησης**	**215 m**	**529-1220 m**	**1895-2420 m**	**2670-3600 m**	**Συνολική αφθονία (αριθμός ατόμων/m^2)**
Apionsoma murinae bilobatae	SIP	20	704	56	0	780
Pholoides dorsipapillatus	POL	0	160	0	0	160
Kelliella abyssicola	MOL	56	4	0	0	60
Golfingia vulgaris	SIP	32	4	12	0	48
Paraonidae sp	POL	0	48	0	0	48
Leitoscoloplos kerguelensis	POL	0	8	32	0	40
Sipunculidea juvenile	SIP	0	28	8	0	36
Abra longicallus	MOL	36	0	0	0	36
Leptognathia sp1	CRU	4	28	4	0	36
Notomastus latericeus	POL	0	32	0	4	36

3.2 Πολυπαραγοντικές αναλύσεις

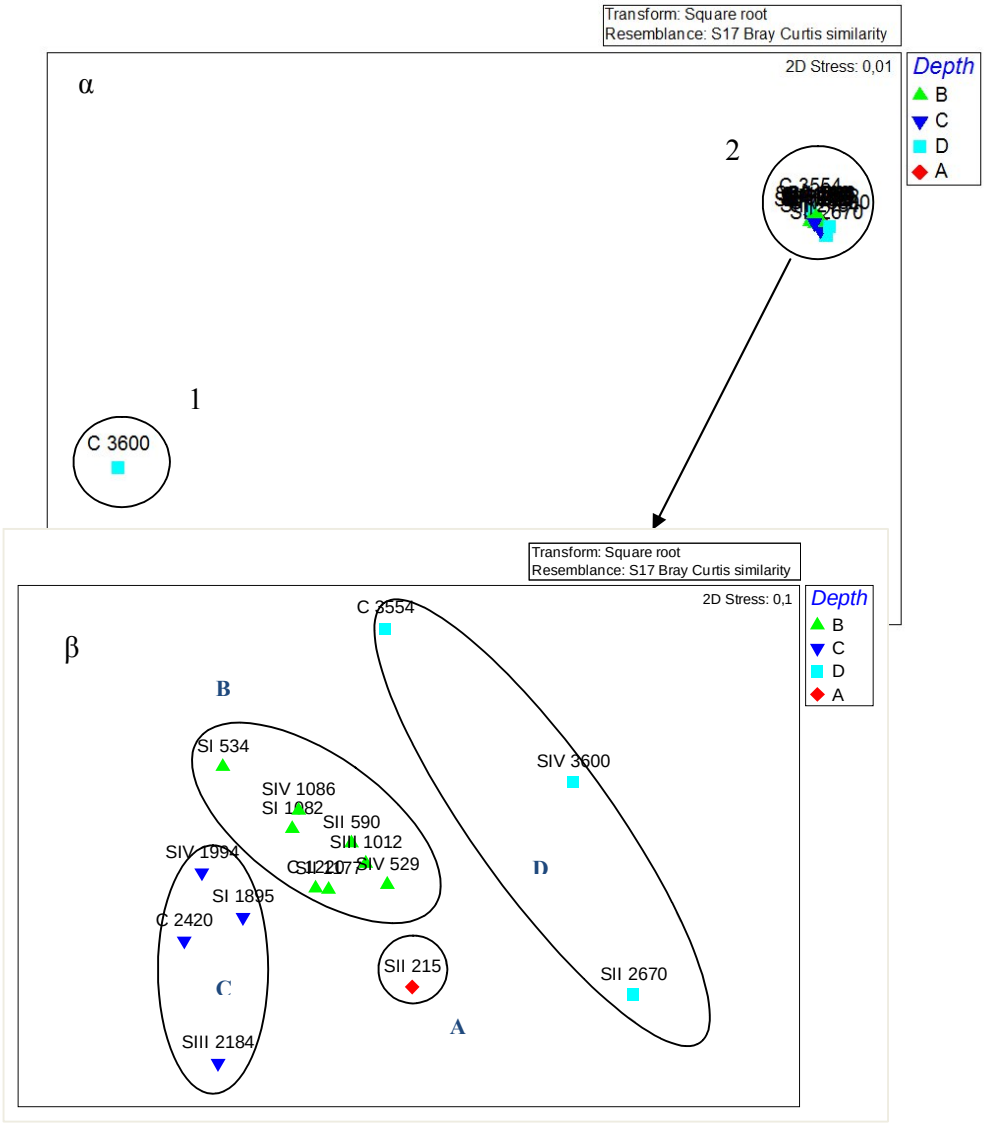
3.2.1 Πολυδιάστατη διαβάθμιση (Multi-dimensional Scaling, MDS)

Στην Εικόνα 24 (α) απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυδιάστατης διαβάθμισης στα δεδομένα αφθονίας. Αρχικά, φάνηκε ότι με την εισαγωγή του σταθμού C 3600 της διατομής του Φαραγγιού στην μέθοδο MDS σχηματίστηκαν δύο ομάδες: μια με το σταθμό αυτό και μια άλλη με όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Η συγκεκριμένη κατάταξη των ομάδων οφείλεται στο γεγονός ότι στο σταθμό C 3600 υπάρχει μόνο ένα είδος Καρκινοειδούς, το οποίο δεν εμφανίστηκε σε κανέναν άλλο σταθμό. Για να φανεί η ομαδοποίηση των υπόλοιπων ομάδων, αφαιρέθηκε ο σταθμός αυτός από την μέθοδο MDS (Εικόνα 24 β).

Με την αφαίρεση του σταθμού C 3600, διαπιστώθηκε, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πως σχηματίζονταν τέσσερις διακριτές ομάδες μεταξύ των βαθών με καλό επίπεδο αξιοπιστίας (stress 0,1) της μεθόδου (Εικόνα 24 β). Συγκεκριμένα, στην πρώτη ομάδα (A) ανήκε ο σταθμός με βάθος 215 m, στην ομάδα (B) ανήκαν οι σταθμοί με βάθη από 529 m έως 1220 m. Στην επόμενη ομάδα (C) περιέχονταν οι σταθμοί με βάθη από 1895 έως 2420 m ενώ στην τελευταία ομάδα (D) ανήκαν οι σταθμοί με βάθη 2670 έως 3600 m.

Η μέθοδος MDS εφαρμόστηκε και στα δεδομένα των σταθμών δειγματοληψίας χωρίς τους σταθμούς C 3600 και SII 215. Το αποτέλεσμα που εξήχθη ήταν ακριβώς το ίδιο με αυτό της Εικόνας 24 (β) χωρίς την ομάδα A (SII 215). Έτσι, φάνηκε ξεκάθαρα πως σχηματίζονταν τρεις διακριτές ομάδες με βάση την βαθυμετρία. Η διακριτότητα των ομάδων επιβεβαιώθηκε και από την μέθοδο ανάλυσης ομοιότητας (ANOSIM) στον Πίνακα 5. Και οι τρεις διακριτές ομάδες διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους (R: 0,715, με επίπεδο σημαντικότητας 0,1%). Στα δεδομένα εφαρμόστηκε μετασχηματισμός τετραγωνικής ρίζας. Ο σταθμός SII 215 αφαιρέθηκε από την ανάλυση MDS και ANOSIM καθώς εξαιτίας της διαφορετικότητας του τόσο σε αφθονία όσο και σε σύνθεση ειδών (αποτελεί το μεταβατικό όριο μεταξύ υφαλοκρηπίδας και βαθιάς θάλασσας), αποτέλεσε το μοναδικό σταθμό της ομάδας A (Εικόνα 24 β). Η ανάλυση ομοιότητας ANOSIM συγκρίνει ομάδες οπότε δεν ήταν δόκιμο να συμπεριληφθεί ένας μόνο σταθμός στην μέθοδο αυτή.

Σε ότι αφορά στη δομή των βιοκοινοτήτων της βενθικής μακροπανίδας στην περιοχή μελέτης, η υψηλότερη ομοιότητα παρουσιάστηκε μεταξύ των σταθμών SII 1082 και SIV 1086 (53,88%), ενώ αρκετά υψηλή ήταν και η ομοιότητα των σταθμών C 1220 και SII 1177 (52,89%). Ο σταθμός SII 2670 παρουσίασε το χαμηλότερο ποσοστό ομοιότητας με τους υπόλοιπους σταθμούς (0,63%).



Εικόνα 24: (α) Διάγραμμα MDS όλων των σταθμών δειγματοληψίας, όπου 1: σταθμός C 3600 και 2: όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί (2D stress 0,01), (β) Διάγραμμα MDS των διαφορετικών βαθών για κάθε διατομή (2D stress 0,1). A: 215 m, B: 529-1220 m, C: 1895-2420 m και D: 2670-3600 m.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα της ανάλυσης ομοιότητας (ANOSIM)

Global Test					
Sample statistic (Global R): 0,715					
Significance level of sample statistic: 0,1%					
Number of permutations: 999 (Random sample from 225225)					
Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 0					
Pairwise Tests					
Groups	**R Statistic**	**Significance Level %**	**Possible Permutations**	**Actual Permutations**	**Number Observed**
A, B	0,684	0,2	495	495	1
A, C	0,856	0,6	165	165	1
B, C	0,556	2,9	35	35	1

3.2.2 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών ειδών (SIMPER Analysis)

Η ανάλυση με το πρόγραμμα SIMPER πραγματοποιήθηκε στις ομάδες που σχηματίστηκαν με την μέθοδο πολυδιάστατης διαβάθμισης (MDS), με σκοπό να υπολογιστεί η συμμετοχή του κάθε είδους που ευθύνεται για τις παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των συναθροίσεων καθώς και η συμμετοχή του κάθε είδους στη συνολική ομοιότητα που υπάρχει μέσα στην ίδια την ομάδα. Στον Πίνακα 6 απεικονίζονται κάποια από τα αποτελέσματα της ανάλυσης Simper μεταξύ των οποίων και η μέση τιμή ανομοιότητας του δείκτη Bray-Curtis (average dissimilarity), ο οποίος δηλώνει το κατά πόσο δύο ή περισσότερα δείγματα διαφέρουν μεταξύ τους με βάση τη δομή της βιοκοινωνίας.

Η ομάδα (B) με βάθη 529-1220 m διαφέρει από την ομάδα (D) με βάθη 2670-3600 m εξαιτίας των ειδών *Apionsoma murinae bilobatae* (Σωληνοειδές), *Pholoides dorsipapillatus* (Πολύχαιτος), *Asperarca nodulosa* (Μαλάκιο), *Orbiniidae sp.* (Πολύχαιτος) και *Cirrophorus branchiatus* (Πολύχαιτος). Στα δύο πρώτα είδη οφείλεται το 20% της ανομοιότητας των δύο αυτών ομάδων. Η ομάδα (C) με βάθη 1895-2420 m διαφέρει από την ομάδα D κατά 34% εξαιτίας των ειδών *Apionsoma murinae bilobatae* (Σωληνοειδές) και *Leitoscoloplos kerguelensis* (Πολύχαιτος). Από τον Πίνακα 6 φαίνεται ότι το 52,51% της ανομοιότητας των ομάδων αυτών οφείλεται σε πέντε είδη (*Apionsoma*

murinae bilobatae, Leitoscoloplos kerguelensis, Orbiniidae sp., *Sipunculidea juvenile, Sipunculidea sp.*) Οι ομάδες αυτές παρουσιάζουν μια ανομοιότητα της τάξεως του 100%. Όσον αφορά την ανομοιότητα της ομάδας D με την ομάδα (A) με βάθος 215 m, αυτή οφείλεται κατά 10% στα Μαλάκια *Kelliella abyssicola* και *Abra longicallus*. Παρατηρείται ότι τα πέντε πρώτα είδη στα οποία οφείλεται το 21,39% της ανομοιότητας των δύο ομάδων δεν εμφανίζονται στην ομάδα D, όπου τα βάθη είναι πολύ μεγαλύτερα (2670-3600 m).

Πίνακας 6: Αποτελέσματα από την εφαρμογή SIMPER Analysis στα δεδομένα αφθονίας της μακροπανίδας.

Groups B & C **Average dissimilarity = 85,49**	**Group B**	**Group C**	**δείκτης ανομοιότητας Bray-Curtis**	**% συμμετοχή στον δείκτη ανομοιότητας Bray-Curtis**	**Αθροιστικό %**
Είδη	**Μέση αφθονία**	**Μέση αφθονία**			
Apionsoma murinae bilobatae	4,11	2,13	5,46	6,38	6,38
Pholoides dorsipapillatus	2,20	0,00	5,39	6,31	12,69
Leitoscoloplos kerguelensis	0,40	1,81	4,15	4,86	17,55
Asperarca nodulosa	0,82	0,00	2,89	3,38	20,93
Cirrophorus branchiatus	1,15	0,00	2,84	3,32	24,25
Groups B & D **Average dissimilarity = 96,76**	**Group B**	**Group C**			
Apionsoma murinae bilobatae	4,11	0,00	12,31	12,72	12,72
Pholoides dorsipapillatus	2,20	0,00	6,46	6,68	19,39
Asperarca nodulosa	0,82	0,00	3,69	3,81	23,21
Orbiniidae sp	0,80	0,85	3,57	3,69	26,90
Cirrophorus branchiatus	1,15	0,00	3,41	3,53	30,43
Groups C & D **Average dissimilarity = 100,00**	**Group C**	**Group D**			
Apionsoma murinae bilobatae	2,13	0,00	19,38	19,38	19,38
Leitoscoloplos kerguelensis	1,81	0,00	13,93	13,93	33,31
Orbiniidae sp	0,00	0,85	7,71	7,71	41,01
Sipunculidea juvenile	0,80	0,00	6,95	6,95	47,97
Sipunculidea sp	4,55	0,00	0,54	4,55	52,51
Groups B & A **Average dissimilarity = 86,54**	**Group B**	**Group A**			
Kelliella abyssicola	0,20	4,04	3,46	3,99	3,99
Abra longicallus	0,00	3,61	3,27	3,78	7,78
Golfingia vulgaris	0,20	3,50	2,99	3,46	11,24
Urothoe corsica	0,00	3,04	2,76	3,19	14,42
Aricidea cerrutii	0,20	3,04	2,60	3,00	17,43
Groups C & A **Average dissimilarity = 92,24**	**Group C**	**Group A**			
Kelliella abyssicola	0,00	4,04	4,54	4,92	4,92
Abra longicallus	0,00	3,61	4,05	4,39	9,31
Urothoe corsica	0,00	3,04	3,42	3,70	13,01
Aricidea cerrutii	0,00	3,04	3,42	3,70	16,71
Golfingia vulgaris	0,64	3,50	3,23	3,50	20,22
Groups D & A **Average dissimilarity = 97,41**	**Group D**	**Group A**			
Kelliella abyssicola	0,00	4,04	4,89	5,02	5,02
Abra longicallus	0,00	3,61	4,36	4,48	9,50
Golfingia vulgaris	0,00	3,50	4,23	4,34	13,84
Apionsoma murinae bilobatae	0,00	3,04	3,68	3,78	17,61
Urothoe corsica	0,00	3,04	3,68	3,78	21,39

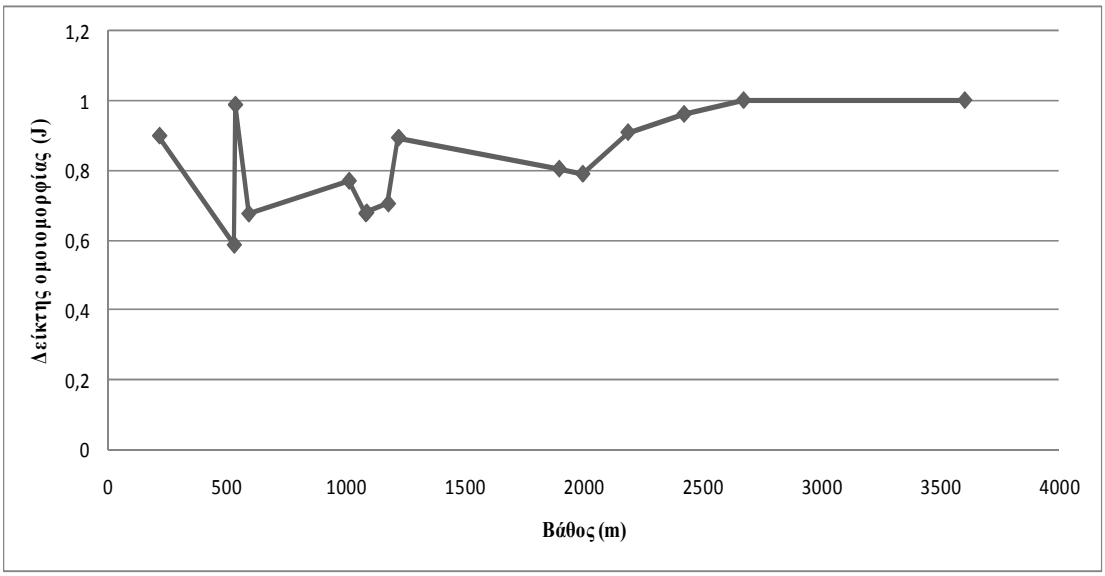
3.2.3 Δείκτες ποικιλότητας

Για την σύγκριση των δεικτών ποικιλότητας, υπολογίστηκαν οι δείκτες Shannon-Wiener (H΄), Margalef (d) και Pielou (J΄) με βάση το είδος των οργανισμών της μακροπανίδας στα διάφορα βάθη (Πίνακας 7). Ο δείκτης ομοιομορφίας (J΄) γενικότερα αυξανόταν με το βάθος (Εικόνα 25) και κυμάνθηκε μεταξύ 0,5863 σε βάθος 529 m και 1 στα βάθη 2670 και 3600 m. Στους σταθμούς του Φαραγγιού με βάθη 3554 και 3600 m δεν υπάρχει τιμή στο δείκτη αυτόν καθώς υπήρχε μόνο ένα είδος σε κάθε σταθμό. Οι δείκτες Shannon-Wiener (H΄) (Εικόνα 26) και Margalef (d) (Εικόνα 27) μειώθηκαν με την αύξηση του βάθους ειδικά σε βάθη μεταξύ 529, 1220 και 1994 m. Ο δείκτης Shannon-Wiener (H΄) (Εικόνα 26) κυμάνθηκε μεταξύ 3,24 στα 215 m και 0 στα 3554 και 3600 m ενώ ο δείκτης Margalef (d) κυμάνθηκε μεταξύ 6,07 στα 215 m και 0 στα 3554 και 3600 m. Γενικά και ο αριθμός των ειδών (S) μειωνόταν με την αύξηση του βάθους, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7 και στην Εικόνα 28. Από τα 37 είδη στα 215 m στην Διατομή ΙΙ μειώθηκε σταδιακά σε ένα είδος σε βάθος 3600 m στη διατομή του Φαραγγιού.

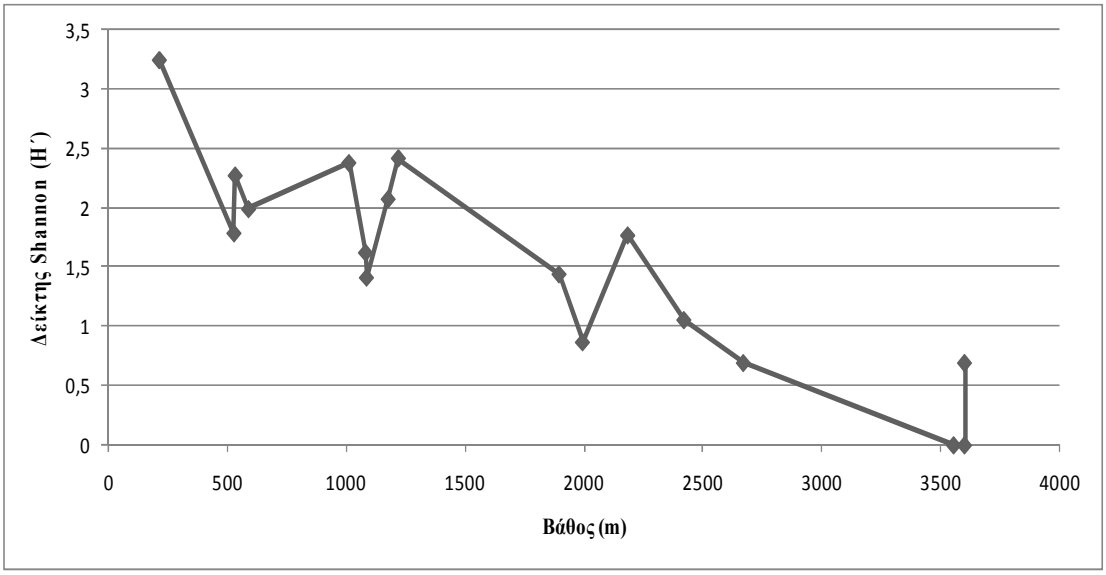
Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται η διακύμανση των δεικτών ποικιλότητας ανά διατομή. Παρατηρείται, ότι η αφθονία των ειδών παίρνει μεγαλύτερες τιμές σε βάθη μεταξύ 215 και 1220 m. Η Διατομή ΙΙ είναι αυτή που ξεχωρίζει με μεγαλύτερο αριθμό ειδών/m^2 όπως και δείκτη ομοιομορφίας (J΄) και Margalef.

Πίνακας 7: Βαθυμετρική μεταβολή των δεικτών ποικιλότητας της μακροπανίδας στους σταθμούς δειγματοληψίας (J΄: ο δείκτης ομοιογένειας Pielou, H΄: ο δείκτης Shannon, d: ο δείκτης ποικιλότητας Margalef και S: αριθμός ειδών, C: Φαράγγι, SI: Διατομή I, SII: Διατομή II, SIII: Διατομή III και SIV: Διατομή IV).

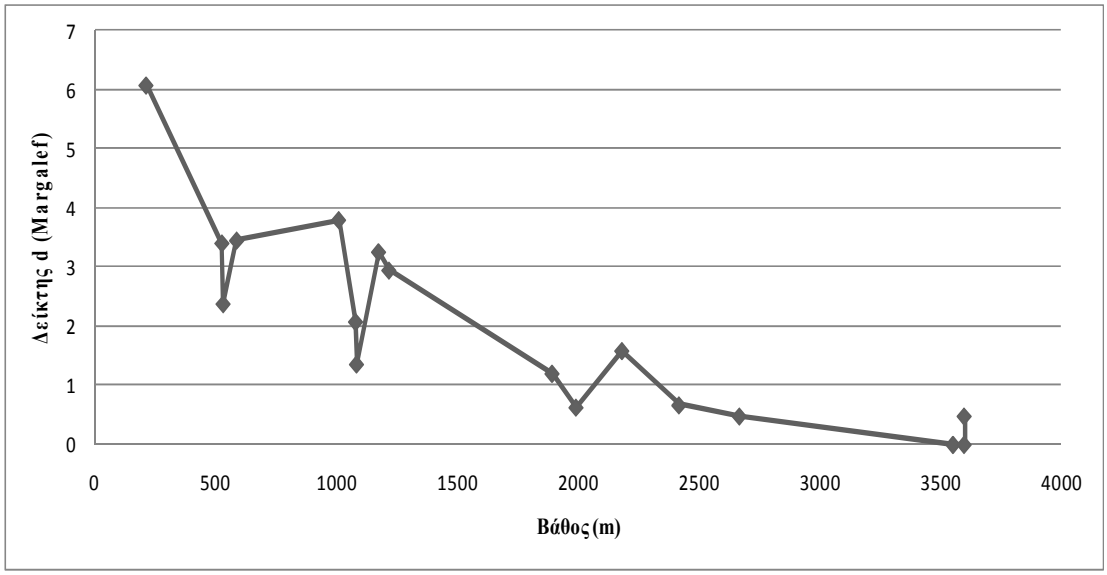
Σταθμός	Βάθος (m)	Δείκτης J'	Δείκτης H'	Δείκτης d	S
SII 215	215	0,8984	3,244	6,071	37
SIV 529	529	0,5863	1,785	3,404	21
SI 534	534	0,9867	2,272	2,378	10
SII 590	590	0,6755	1,989	3,452	19
SIII 1012	1012	0,7692	2,378	3,798	22
SI 1082	1082	0,6762	1,622	2,075	11
SIV 1086	1086	0,679	1,412	1,36	8
SII 1177	1177	0,704	2,073	3,255	19
C 1220	1220	0,8924	2,417	2,945	15
SI 1895	1895	0,8038	1,44	1,202	6
SIV 1994	1994	0,7897	0,8676	0,6293	3
SIII 2184	2184	0,9084	1,768	1,586	7
C 2420	2420	0,9602	1,055	0,6676	3
SII 2670	2670	1	0,6931	0,4809	2
C 3554	3554	***	0	0	1
C 3600	3600	***	0	0	1
SIV 3600	3600	1	0,6931	0,4809	2



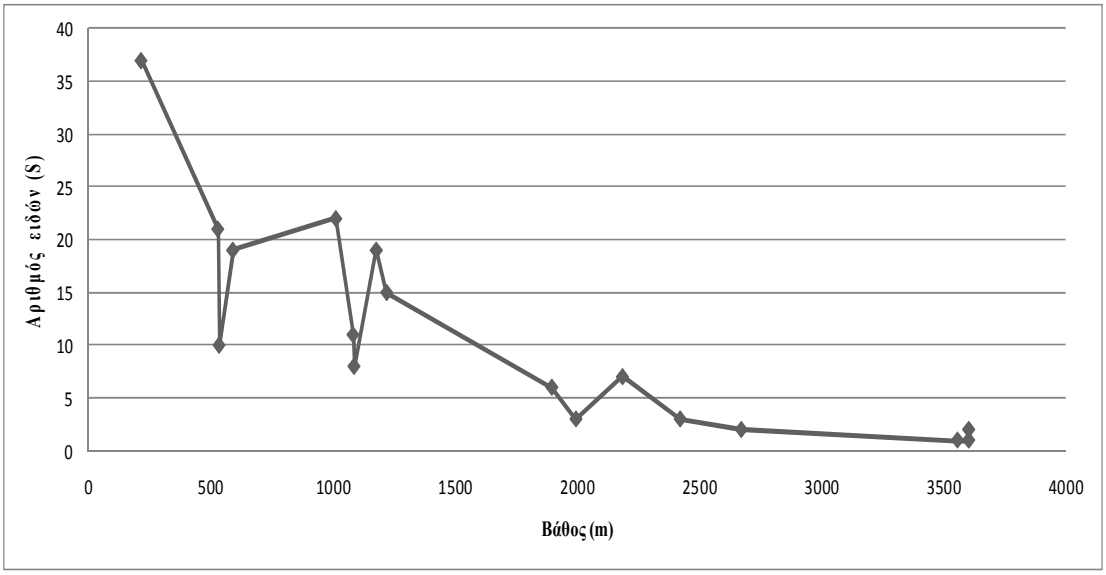
Εικόνα 25: Βαθυμετρική κατανομή του δείκτη ομοιομορφίας J΄ (evenness).



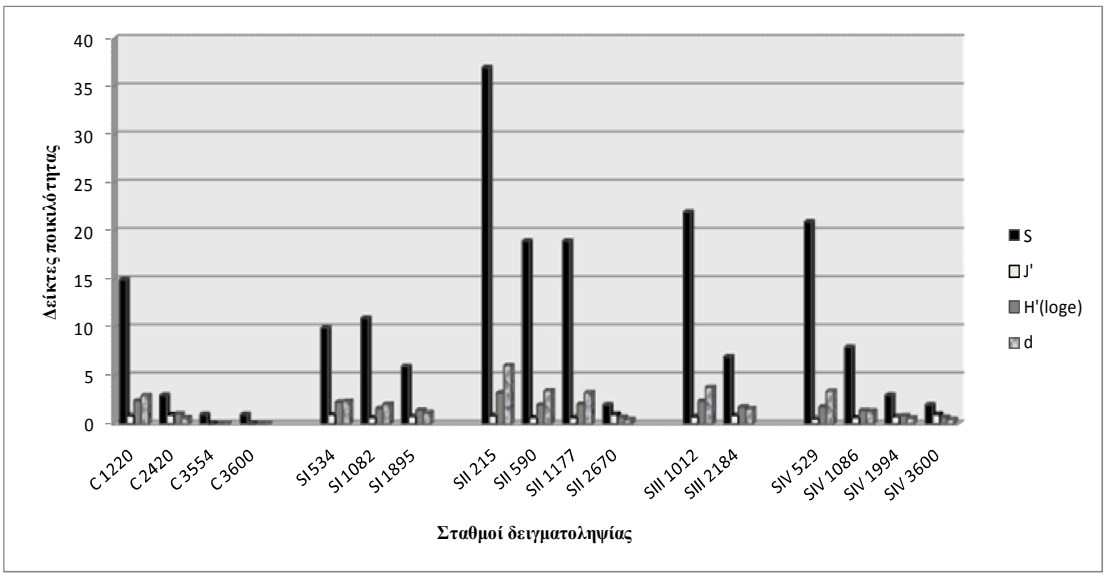
Εικόνα 26: Βαθυμετρική κατανομή του δείκτη Shannon-Wiener H΄.



Εικόνα 27: Βαθυμετρική κατανομή του δείκτη Margalef (d).



Εικόνα 28: Βαθυμετρική κατανομή του αριθμού των ειδών (S).



Εικόνα 29: Διακύμανση δεικτών ποικιλότητας ανά διατομή. Όπου: C φαράγγι, SI διατομή I, SII διατομή II, SIII διατομή III και SIV διατομή IV.

3.2.4 Σύνδεση Βιοτικών και Αβιοτικών Παραμέτρων με τη μέθοδο BIO-ENV

Η μέθοδος BIO-ENV χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση της σχέσης ανάμεσα στα μακροπανιδικά δεδομένα και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επικρατούν σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας, έτσι ώστε να βρεθούν οι παράγοντες αυτοί, στους οποίους οφείλεται η κατανομή της μακροπανίδας. Οι συγκεντρώσεις και το ποσοστό των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων φαίνονται στον Πίνακα 8 (Polymenakou et al. 2008).

Αρχικά, ελέγχθηκε αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των περιβαλλοντικών παραμέτρων (Chl a, C, N, C/N, διαμέτρου κόκκων ιζήματος (md), είδος ιζήματος (silt & clay), δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh και βάθος). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των C, N, C/N προέρχονται από τον μέσο όρο των 6 πρώτων εκατοστών του ιζήματος, της χλωροφύλλης από τα πρώτα 0,3 εκατοστά και το Eh από το μέσο όρο των πέντε πρώτων εκατοστών ιζήματος. Από την μέθοδο Spearman (Πίνακας 9), φάνηκε ότι ο αριθμός των ειδών αυξάνεται στατιστικά σημαντικά με την αύξηση του αζώτου (N) ενώ μειώνεται στατιστικά σημαντικά όσο αυξάνεται το ποσοστό ιλύος-αργίλου. Επίσης, συσχετίζονται θετικά στατιστικά σημαντικά το βάθος με την Chl. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του αζώτου και του άνθρακα. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε σκόπιμο να μην συμπεριληφθεί το άζωτο στην μέθοδο BIO-ENV.

Ο συνδυασμός αφθονίας με Chl a, C, C/N, md, Eh, είδος ιζήματος και βάθος έδωσε μια συσχέτιση R=0,703 (Πίνακας 10) στην μέθοδο BIO-ENV. Επομένως, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της σύνθεσης των ειδών και των περιβαλλοντικών αυτών παραμέτρων με επίπεδο σημαντικότητας ρ=0,01 (< 0,05).

Σε όλους τους παράγοντες εφαρμόστηκε ο μετασχηματισμός της τετραγωνικής ρίζας (√). Την καλύτερη συσχέτιση με τα δεδομένα αφθονίας έδωσε ο συνδυασμός τριών περιβαλλοντικών παραγόντων: του βάθους, του άνθρακα και του είδους του ιζήματος (Silt & Clay) (R=0,703). Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι το 70% των δεδομένων της μακροπανίδας εξηγούνται από τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές παραμέτρους που μετρήθηκαν στους σταθμούς δειγματοληψίας.

Πίνακας 8: Βάθος, αφθονία ειδών, md, Eh, συγκέντρωση της Chl a, και ποσοστό (%) των C, N, C/N και silt & clay (Polymenakou et al. 2008).

Station	Species abundance	Depth	Chl (μg/g)	%C	%N	C/N	md	Silt&clay(%)	Eh
C 1220	116	1220	0,07	0,404	0,039	12,767	0,0293	72,89	194,5
C 2420	20	2420	0,20	0,391	0,040	11,556	0,0859	39,53	246,833
C 3554	12	3554	0,23	0,392	0,042	11,002	0	0	252,5
C 3600	4	3600	0,16	0,366	0,053	7,927	0,0234	88,46	280,333
SI 534	44	534	0,18	0,412	0,045	10,766	0,0259	69,73	201,667
SI 1082	124	1082	0,09	0,406	0,043	11,624	0,0228	91,28	252,833
SI 1895	64	1895	0,18	0,401	0,048	10,563	0,0215	86,45	270,667
SII 215	376	215	0,15	0,480	0,049	12,049	0,0236	87,42	269,333
SII 590	184	590	0,11	0,388	0,026	17,291	0,0185	97,95	253,333
SII 1177	252	1177	0,10	0,439	0,028	21,908	0,0147	96,33	252,167
SII 2670	8	2670	0,07	0,400	0,032	15,191	0,0122	98,37	282,333
SIII 1012	252	1012	0,09	0,411	0,045	10,951	0,014	95,65	264,833
SIII 2184	44	2184	0,06	0,629	0,089	13,396	0,0168	97,51	256,833
SIV 529	356	529	0,08	0,370	0,035	13,255	0,0246	74,87	237,333
SIV 1086	172	1086	0,07	0,346	0,036	11,512	0,0231	88,03	254,167
SIV 1994	24	1994	0,12	0,357	0,028	17,682	0,022	95,59	235,333
SIV 3600	8	3600	0,07	0,242	0,019	38,589	0,0221	96,43	269,167

Πίνακας 9: Αποτελέσματα της συσχέτισης των περιβαλλοντικών δεδομένων με την ανάλυση Spearman (με έντονο χρώμα φαίνονται όσα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά).

	Species Abundance	*Depth*	*Chl*	*C*	*N*	*C/N*	*md*	*Silt&clay*	*Eh*
Species Abundance	1								
Depth	-0,888	1							
Chl	-0,141	**0,008**	1						
C	0,397	-0,389	**0,015**	1					
N	**0,003**	-0,066	0,252	0,544	1				
C/N	0,087	0,052	-0,515	-0,113	-0,734	1			
md	0,096	-0,271	0,115	-0,135	0,130	-0,211	1		
Silt & Clay	**-0,015**	0,119	-0,588	**0,005**	-0,320	0,593	-0,556	1	
Eh	-0,207	0,303	-0,123	**-0,027**	0,279	-0,152	-0,417	0,483	1

Πίνακας 10: Αποτελέσματα της ανάλυσης BIO-ENV.

Αριθμός μεταβλητών	Μεταβλητές	Συσχέτιση
3	Βάθος, C, Silt&clay	0,703
4	Βάθος, Chl, C, Silt&clay	0,690
5	Βάθος, Chl, C, C/N, Silt&clay	0,665
4	Βάθος, C, C/N, Silt&clay	0,665
4	Βάθος, C, md, Silt&clay	0,665
3	Βάθος, C, md	0,646
5	Βάθος, C, C/N, md, Silt&clay	0,645
3	Βάθος, Chl, C	0,644
5	Βάθος, Chl, C, md, Silt&clay	0,642
5	Βάθος, C, C/N, Silt&clay, Eh	0,640

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Δυναμική του βενθικού οικοσυστήματος

Αν και η μελέτη της βαθιάς θάλασσας (πέρα από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα) έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, το βαθύ αυτό θαλάσσιο περιβάλλον είναι ελάχιστα γνωστό. Η βαθιά θάλασσα είναι το μεγαλύτερο οικοσύστημα στον πλανήτη, ρυθμιστής του κλίματος, και περιλαμβάνει τεράστιους φυσικούς πόρους. Παρόλα αυτά, από το 90% των γνωστών οργανισμών που ζουν στους ωκεανούς και τις θάλασσες, υπολογίζεται ότι ο θαλάσσιος πυθμένας είναι αυτός που φιλοξενεί το μεγαλύτερο αριθμό ειδών (Weaver et al. 2004).

Η Μεσόγειος, και συγκεκριμένα η ανατολική της λεκάνη, είναι μία από τις πιο ολιγοτροφικές περιοχές του κόσμου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μείωση του φωσφόρου από τα δυτικά προς τα ανατολικά (Krom et al. 1991, Psarra et al. 2005), όπου η χαμηλή παραγωγικότητα σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία και την υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο οδηγούν σε αύξηση της κατανάλωσης του οργανικού υλικού μέσω της μικροβιακής τροφικής αλυσίδας (Siokou-Frangou et al. 2002).

Η μακροπανίδα της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας της Ανατολικής Μεσογείου έχει υποστεί ελάχιστη δειγματοληπτική προσπάθεια σε σχέση με αυτήν της Δυτικής λεκάνης, με την αφθονία της να είναι γενικά χαμηλή και να μειώνεται με την αύξηση του βάθους (Danovaro et al. 2000, Duineveld G. C. A. et al. 2000, Fredj and Laubier 1985, Karakasis I. and Eleftheriou 1997, Tselepides and Eleftheriou 1992, Tselepides et al. 2000). Επιπρόσθετα, η βακτηριακή αφθονία και οι παράμετροι του ιζήματος, όπως ο οργανικός άνθρακας και η χλωροφύλλη, μειώνονται με το βάθος. Είναι καλά αποδεδειγμένο ότι οι βασικοί παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την γενική πενία της Μεσογείου είναι:

- Η βιογεωγραφία και η γεωλογική της ιστορία
- Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών (13-14° C) κάτω από τα 200 m βάθος και
- Η έλλειψη τροφής (Sarda F. et al. 2004).

Πρακτικά, όλες οι κύριες ζωικές ομάδες της μακροπανίδας έχουν αντιπροσώπους στη βαθιά θάλασσα, αλλά η σχετική τους αφθονία ποικίλει. Στην παρούσα εργασία, αφθονότερη ομάδα ήταν αυτή των Σωληνοειδών ακολουθούμενη από αυτή των Πολυχαίτων. Σύμφωνα με έρευνες (Karakasis I. and Eleftheriou 1997, Tselepides et al.

2000a), ένα από τα χαρακτηριστικά της υφαλοκρηπίδας της Κρήτης είναι η σχετικά υψηλή αφθονία των Σωληνοειδών, τα οποία είναι μεταξύ των μεγαλύτερων επιπανιδικών οργανισμών. Η κυριαρχία των οργανισμών αυτών φαίνεται να είναι χαρακτηριστικό του Ν. Αιγαίου (όπως αναφέρεται και από την (Ζενέτου 1989)) και μπορεί να αποδοθεί στο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα τους σε ολιγοτροφικές συνθήκες ή στην τάση μετάβασης του οικοσυστήματος προς τα αντίστοιχα τροπικά (Καρακάσης 1991). Εν τούτοις, το αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας, έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες μελέτες (Coll et al. 2010, Gerino et al. 1995, Karakasis I. and Eleftheriou 1997, Kröncke et al. 2003, Tselepides et al. 2000a), όπου παρουσιάζουν τους Πολύχαιτους σαν αφθονότερη ομάδα.

Οι δύο λεκάνες της Μεσογείου (Δυτική και Ανατολική) παρουσιάζουν ετερογένεια ως προς την ποικιλότητα των ειδών: η Δ. λεκάνη παρουσιάζει βιολογικές ομοιότητες με τον Ατλαντικό ωκεανό, φιλοξενώντας μεγάλο αριθμό ψυχρών ειδών, ενώ η Α. λεκάνη αν και μοιάζει στη σύσταση της πανίδας με τον Ατλαντικό, ωστόσο έχει και κάποιες βιολογικές ομοιότητες με τον Ινδό-Ειρηνικό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ρεύμα μετανάστευσης λεσσεψιανών (υποτροπικών) ειδών από την Ερυθρά Θάλασσα, μετά την διάνοιξη της διώρυγας του Σουέζ, που σε πρώτη φάση εποικίζει την Ανατολική Μεσόγειο (Coll et al. 2010).

Η σύνθεση της μακροπανίδας του ηπειρωτικού περιθωρίου της Κρήτης είναι σχετικά παρόμοια με αυτήν της Δ. Μεσογείου, του γειτονικού Ατλαντικού και της Βόρειας Θάλασσας, έχοντας αρκετά κοινά είδη (Tselepides et al. 2000a). Η παρατηρούμενη σύνθεση ειδών, έως τα 2000 m περίπου, χαρακτηρίζεται από Πολύχαιτους *Pholoides dorsipapillatus, Aricidea cerrutii, Notomastus latericeus*, πολλά Καρκινοειδή *Urothoe corsica, Ambelisca jaffaensis, Harpinia crenulata,* Σωληνοειδή με τα περισσότερα άτομα να ανήκουν στο είδος *Apionsoma murinae bilobatae,* ενώ κάποια άλλα ανήκαν στα είδη *Golfingia vulgaris, Aspidosiphon muelleri muelleri* και Μαλάκια όπως τα *Kelliella abyssicola, Abra longicallus* και *Asperarca nodulosa.*

Στου βαθύτερους σταθμούς (βάθη μεγαλύτερα των 2000 m) η μακροβενθική κοινότητα απαρτίζεται από Πολύχαιτους *Glycera alba, Notomastus latericeus, Leitoscoloplos kerguelensis*, Καρκινοειδή *Pseudotiron bouvieri, Leptognathia sp.,* και Σωληνοειδή όπως το είδος *Apionsoma murinae bilobatae* ενώ η ομάδα των Μαλακίων απουσιάζει.

Τα είδη της μαλακοπανίδας που κυριαρχούσαν στην παρούσα περιοχή δειγματοληψίας, σε βάθη 215-534 m, ήταν τα δίθυρα *Kelliella abyssicola* και *Abra longicallus* ενώ σε μεγαλύτερα βάθη (έως 1086 m) εμφανίζονταν τα *Limatula sp., Asperarca nodulosa* και *Cuspidaria rostrata.* Στους βαθύτερους σταθμούς (>1086 m), δεν εμφανίστηκαν άτομα της ταξινομικής αυτής ομάδας. Στο Κρητικό πέλαγος, αντίστοιχα (Koutsoubas et al. 2000), κυρίαρχα είδη ήταν το γαστερόποδο *Aporrbais serresianus* και το δίθυρο *Kelliella abyssicola* ενώ 5 από τα είδη που βρέθηκαν στην παρούσα περιοχή δειγματοληψίας ανήκαν σε κάποια από τα 44 νέα είδη που είχαν βρεθεί στην μελέτη των Koutsoubas et al (2000). Η παρουσία του δίθυρου *Nuculoma aegeensis*, στην παρούσα μελέτη όσο και στην μελέτη των Koutsoubas et al. (2000), σε μικρό βάθος (215 m), ισχυροποιεί την άποψη (Dounas and A. 1992), ότι το δίθυρο αυτό δεν εμφανίζεται μόνο σε μεγάλα βάθη (1500 m), αλλά έχει μια ευρεία βαθυμετρική κατανομή.

Γενικά, όλα τα είδη Μαλακίων παρουσιάζουν μια μείωση με το βάθος: ο αριθμός των ειδών που έχει καταγραφεί στα 40 m στο Κρητικό πέλαγος, ήταν σχεδόν 8 φορές υψηλότερος από αυτόν στα 1570 m (Koutsoubas et al. 2000). Το ίδιο ισχύει και για το σύνολο της μακροπανίδας στην ίδια περιοχή δειγματοληψίας (Tselepides et al. 1997) καθώς και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου (Fredj and Laubier 1985).

Αξιοσημείωτο να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι η ομάδα των Εχινοδέρμων απουσίαζε παντελώς από τα δείγματα τα οποία λήφθηκαν. Το αποτέλεσμα αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι τα Εχινόδερμα θεωρούνται μεγαπανίδα και είναι ευαίσθητοι οργανισμοί. Οι πληθυσμοί της ομάδας αυτής είναι αραιοί με αποτέλεσμα είτε να χρειάζονται άλλου τύπου δειγματολήπτη για την λήψη τους, είτε την χρήση υποβρύχιας βιντεοκάμερας για την παρατήρησή και καταμέτρησή τους.

Η βιομάζα και η αφθονία γενικά μειώνονται με την απόσταση από την ακτή και ταυτόχρονα με την αύξηση του βάθους (Hessler and Sanders 1967, Sanders Howard L. 1958). Σε κεντρικές θαλάσσιες περιοχές, η βιομάζα τείνει να είναι λιγότερη από 0,1 g/m^2, ενώ μεγαλύτερες τιμές βάρους χαρακτηρίζουν περιοχές κοντά σε ακτές, εκφράζοντας έτσι την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα τροφής (Thiel 1975). Για παράδειγμα, σε δείγματα στην Καλιφόρνια σε μια απόσταση 50 μιλίων από την ακτή, η συνολική βιομάζα είναι 36-40 g/m^2 σε βάθος 200 m. σε απόσταση 100-120 μίλια και με το βάθος να αυξάνεται σε 4350 m, η βιομάζα μειώνεται σε 3,5 g/m^2, ενώ στο ίδιο περίπου βάθος αλλά σε απόσταση 500-600 μίλια από την ακτή ελαττώνεται ακόμα περισσότερο (0,2-0,5 g/m^2) (Thiel 1975). Η

μείωση της αφθονίας και βιομάζας δεν οφείλεται όμως μόνο στις δύο αυτές μεταβλητές (βάθος και απόσταση από την ακτή). Το βένθος εξαρτάται από την ποσότητα του οργανικού υλικού που θα φτάσει στο βυθό και αυτό εξαρτάται από την παραγωγή στα επιφανειακά στρώματα. Γενικότερα, το μικρό μέγεθος των οργανισμών με την σχετικά μεγάλη πυκνότητα πληθυσμών είναι αυτό που χαρακτηρίζει το βένθος της βαθιάς θάλασσας (Thiel 1975). Μάλιστα, ο Thiel (1975) για να τονίσει την σπουδαιότητα των μικρών οργανισμών σε μεγάλα βάθη, ορίζει την βαθιά θάλασσα σαν ένα «περιβάλλον μικρών οργανισμών».

4.2 Πρότυπο κατανομής της μακροπανίδας συναρτήσει του βάθους

Παρά τις σχετικά ομοιογενείς συνθήκες θερμοκρασίας και αλατότητας που επικρατούν στην Μεσόγειο, σε βάθη κάτω από 300 m, το πρότυπο αντικατάστασης των ειδών συναρτήσει του βάθους είναι παρόμοιο με αυτό που παρατηρείται στον Ατλαντικό ωκεανό (Rowe Gilbert T. et al. 1982). Η Μεσόγειος, και κυρίως η ανατολική λεκάνη, είναι μια από τις πιο ολιγοτροφικές θάλασσες του κόσμου, με τις τιμές βιομάζας και αφθονίας να είναι πολύ χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του Ατλαντικού, σε βάθη μεγαλύτερα των 1600 m (Tselepides et al. 2000). Με βάση την διαθεσιμότητα τροφής, ο αριθμός των ειδών, η αφθονία και η βιομάζα, στην περιοχή δειγματοληψίας, αναμένεται να έχουν πολύ χαμηλότερες τιμές, καθώς το βάθος φτάνει και τα 3600 m. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πανίδα της ΝΔ Κρήτης είναι όντως φτωχή, όπως φάνηκε και στην πανίδα της λεκάνης της Ιεράπετρας (Kröncke et al. 2003).

Στην βαθιά Μεσόγειο η μακροπανιδική βιομάζα ποικίλει σημαντικά τόσο από περιοχή σε περιοχή όσο και εποχικά. Η πανιδική αφθονία και βιομάζα γενικά μειώνονται με το βάθος και την απόσταση από την ακτή (Fredj and Laubier 1985, Koutsoubas et al. 2000, Thiel 1975, Tselepides et al. 1997), καθώς επίσης, όπως συμβαίνει και με την μειοπανίδα, και από δυτικά προς ανατολικά. Κοντά σε υποθαλάσσια φαράγγια ή άλλες περιοχές μεγάλης παραγωγικότητας, η μακροπανιδική βιομάζα μπορεί να αυξηθεί (Cartes et al. 2004).

Η μακροπανιδική πυκνότητα στη Μεσόγειο είναι περίπου δέκα φορές χαμηλότερη από αυτή που έχει καταγραφεί στον Ατλαντικό ωκεανό σε παρόμοια βάθη (Cosson et al.

1997, Flach and Heip 1996). Στη Δυτική Μεσόγειο αναφέρονται τιμές βιομάζας μεταξύ 2,54 g/m^2 ξηρού βάρους (στα 250 m) και 0,05 g/m^2 (στα 2000 m) στο φαράγγι Toulon, νότια της Γαλλίας (Stora et al. 1999). Στην ίδια μελέτη, η βιομάζα της μακροπανίδας διέφερε επίσης κατά μήκος του φαραγγιού (2,54 g/m^2) και του πλαϊνού τμήματος του φαραγγιού (0,70 g/m^2) στο ίδιο βάθος. Επίσης, ο αριθμός των ειδών φάνηκε να μειώνεται με το βάθος, από 124 είδη στα 250 m σε 31 είδη στα 2000 m (Stora et al. 1999). Όσον αφορά τις τιμές βιομάζας της παρούσας μελέτης, αυτές κυμαίνονταν από 0,12 g/m^2 ξηρού βάρους στα 215 m έως 0,0022 g/m^2 στα 2184 m, ενώ ο αριθμός των ειδών από τα 37 είδη στα 215 m μειώθηκε στα 7 είδη σε βάθος 2184 m. Παρατηρείται, δηλαδή, ότι σε βάθος 215 m, η τιμή της βιομάζας είναι 21 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στην Δ. Μεσόγειο, ενώ σε σύγκριση με τον πιο βαθύ σταθμό (2000 m) είναι 318 φορές μικρότερη. Επιπλέον, στα 215 και 2000 m ο αριθμός των ειδών ήταν αντίστοιχα 3 και 4 φορές μικρότερος από αυτόν στη Δ. Μεσόγειο. Συγκριτικά με το ολιγοτροφικό Κρητικό Πέλαγος (Tselepides et al. 2000a), η μακροπανιδική βιομάζα στα 200 περίπου μέτρα ήταν 8 φορές μικρότερη ενώ στα 2000 m 27 φορές μικρότερη. Αντίθετα, ο αριθμός των ειδών ήταν σχεδόν ο ίδιος τόσο στα 200 όσο και στα 2000 m.

Σε αντίθεση με τις κλασικές μελέτες στον ΒΔ Ατλαντικό, όπου εμφανίζεται μια αύξηση της βιοποικιλότητας του μακροβένθους με το βάθος (Rex 1981), η παρούσα εργασία αποκαλύπτει ένα πρότυπο μείωσης της μακροπανιδικής ποικιλότητας συναρτήσει του βάθους, τόσο στην αφθονία όσο και στην βιομάζα της πανίδας. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί και με άλλες εργασίες (Cosson et al. 1997, Gage J. D. and Tyler 1991, Hausmann et al. 2002, Koutsoubas et al. 2000, Kröncke et al. 2003, Tselepides et al. 2000a).

Όσον αφορά το βάθος του ιζήματος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι οργανισμοί εισχωρούν μέχρι ενός ορίου μέσα στο ίζημα καθώς η περιεκτικότητα του ιζήματος σε οξυγόνο μειώνεται σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους εξαιτίας της αναπνοής των οργανισμών που ζουν σε αυτό καθώς επίσης και της χημικής οξείδωσης που λαμβάνει χώρα στο κινητό υπόστρωμα. Έτσι, το σύνολο των οργανισμών ζει σε βάθος 0-5 cm του ιζήματος, ενώ οι οργανισμοί που ζουν στα επόμενα 5 εκατοστά ιζήματος, είναι ελάχιστοι ή απουσιάζουν. Εντούτοις στο φαράγγι Toulon (Gerino et al. 1995), στην ΒΔ Μεσόγειο, αναφέρεται ότι η πλειονότητα των μακροβενθικών οργανισμών συγκεντρώνεται στα 3 πρώτα εκατοστά του ιζήματος. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι

δεν υπάρχουν εκτεταμένες μελέτες όσον αφορά την μακροπανίδα σε υποθαλάσσια φαράγγια στην Μεσόγειο. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει αφορούν φυσικοχημικές αναλύσεις (Allen and Madron 2009, García et al. 2008, Oliveira et al. 2007), μειοπανίδα (Bianchelli et al. 2010), και μεγαπανίδα (Gili J.M et al. 1998, Gili J. M. et al. 2000, Stefanescu et al. 1994).

4.3 Σύγκριση διατομών

Η αφθονία κατά μήκος των πέντε διατομών φάνηκε να είναι μεγαλύτερη στην Διατομή ΙΙ, νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης, σε σχέση με τις υπόλοιπες διατομές. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η διατομή αυτή περιλαμβάνει τον σταθμό με το μικρότερο βάθος (215 m) και απέχει μικρότερη απόσταση από την ακτή. Μικρότερη αφθονία καταγράφηκε στην διατομή του Φαραγγιού, τόσο εξαιτίας της ύπαρξης σταθμών με μεγαλύτερο βάθος (έως και 3600 m), όσο και της όχι και τόσο επιτυχημένης δειγματοληπτικής προσπάθειας. Ο δειγματολήπτης έπεφτε συνεχώς σε χοντρόκοκκο ίζημα και βράχια με αποτέλεσμα την αποτυχία λήψης δείγματος. Παράλληλα, δεν υπήρχε η δυνατότητα ρίψης υποβρύχιου οχήματος (ROV) για να βρεθεί η κατάλληλη τοποθεσία για την δειγματοληψία. Επιπλέον, έπειτα από μια επόμενη αποστολή στον σταθμό με βάθος 3600 m, τον Μάιο του 2010, και την προσπάθεια λήψης δείγματος τόσο με δειγματολήπτη τύπου box-corer όσο και με δειγματολήπτη τύπου multi-corer, παρατηρήθηκε ότι η λάσπη και το λεπτόκοκκο ίζημα που υπήρχε στην περιοχή είχε αντικατασταθεί από χοντρόκοκκο ίζημα (Λαμπαδαρίου, προσωπική επικοινωνία). Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα δυναμικό σύστημα, το οποίο δεν είναι σταθερό, σε αντίθεση δηλαδή με την βαθιά θάλασσα, η οποία θεωρείται ένα σταθερό, αμετάβλητο περιβάλλον.

Κάποια υποθαλάσσια φαράγγια είναι στενά συνδεδεμένα με την εκροή ποτάμιων συστημάτων ενώ άλλα συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες ιζήματος από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα στην βαθιά θάλασσα (Weaver et al. 2004). Στην περίπτωση του φαραγγιού της Σαμαριάς, δεν υπάρχει άμεση σύνδεση του χερσαίου τμήματος με το υποθαλάσσιο. Έτσι, το σύνολο του οργανικού υλικού που συσσωρεύεται στην έξοδο του φαραγγιού είναι αποτέλεσμα καταβύθισης υλικού κατά μήκος του συστήματος αυτού. Αξίζει να σημειωθεί

ότι ένα μέρος της πρωτογενής παραγωγικότητας αποικοδομείται στην στήλη του νερού καθώς κατακρημνίζεται.

Η μέγιστη συνολική τιμή ξηρής βιομάζας που καταγράφηκε στη διάρκεια της μελέτης αυτής, ήταν στα 215 m βάθος της Διατομής ΙΙ, νότια του λιμανιού της Αγ. Γαλήνης ενώ η ελάχιστη στα 3600 m στη διατομή του Φαραγγιού. Το αποτέλεσμα αυτό ακολουθεί το γενικότερο πρότυπο της μείωσης της βιομάζας συναρτήσει του βάθους και συσχετίζεται με την γενικότερη βαθυμετρική μείωση της αφθονίας. Επιπλέον, η μείωση της βιομάζας σχετίζεται ξεκάθαρα με την ολιγοτροφία, η οποία είναι χαρακτηριστική για την Μεσόγειο και κυρίως την ανατολική της λεκάνης. Στην πραγματικότητα, έχει βρεθεί ότι στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα της Κρήτης επικρατούν ολιγοτροφικές συνθήκες ακόμη και σε πολύ μικρή απόσταση από την ακτή (Karakasis and Zivanovic 1995).

4.4 Ποικιλότητα

Στην βαθιά θάλασσα παρατηρείται μείωση της βενθικής πανίδας σε σχέση με το βάθος, τάση που φαίνεται να επικρατεί στις περισσότερες θαλάσσιες περιοχές (Rowe Gilbert T. et al. 1982, Stora et al. 1999). Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις όσον αφορά τον παραπάνω γενικό κανόνα που αποδίδονται στην αυξημένη επιφανειακή πρωτογενή παραγωγή. Έτσι, περιοχές με σχετικά υψηλή εισροή άνθρακα, όπως τα φαράγγια και οι τάφροι, υποστηρίζουν πολύ υψηλότερα αποθέματα, συγκρινόμενα με τις γειτονικές ρηχότερες περιοχές (Lampadariou and Tselepides 2006).

Έρευνες στο πεδίο ποικιλότητας (Gage J. D. and Tyler 1991, Rex 1981) δείχνουν ότι η σχέση του προτύπου του αριθμού των ειδών συναρτήσει του βάθους ακολουθεί παραβολή. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας φάνηκε ότι αν και υπάρχει μια μείωση του αριθμού των ειδών συναρτήσει του βάθους παρόλα αυτά δεν ακολουθεί την παραβολική αυτή σχέση των Rex (1981). Το αποτέλεσμα αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι δεν λήφθησαν δείγματα από όλα τα αντιπροσωπευτικά βάθη καθώς θα ήταν πιο ορθό να ληφθούν δείγματα και από μεγαλύτερα βάθη έτσι ώστε να φανεί το μέγιστο του αριθμού ειδών σε σχέση με το βάθος. Ακόμη ένας λόγος θα μπορούσε να είναι ο μη επαρκής αριθμός δειγμάτων ενώ τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα του φαραγγιού είναι ένα ιδιαίτερο οικοσύστημα, τελείως διαφορετικό από αυτό

των βαθιών γειτονικών λεκανών όσον αφορά την πρωτογενή παραγωγή, τη ροή άνθρακα, την υδρογραφία κλπ.

Η μείωση του αριθμού των ειδών στην Μεσόγειο Θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δεικτών ποικιλότητας σε συνάρτηση με το βάθος. Ο δείκτης ομοιότητας (J΄) στα 1500 m βάθος είναι παρόμοιος τόσο στον Ατλαντικό ωκεανό (0,88 για το φαράγγι Hudson) όσο και στην Μεσόγειο (0,92 για το φαράγγι Toulon και 0,96 για το φαράγγι της Σαμαριάς). Παρόλα αυτά, στην ανώτερη υφαλοκρηπίδα της Μεσογείου είναι ιδιαιτέρως υψηλός, αποδεικνύοντας έτσι, ότι τα περισσότερα είδη που συνθέτουν τις κοινωνίες βρίσκονται σε βάθη μεταξύ 250 και 2000 m και απαρτίζονται από παρόμοιο αριθμό ατόμων (Stora et al. 1999).

Κατά μήκος του υπό μελέτη φαραγγιού συναντώνται συχνότερα το Σωληνοειδές *Apionsoma murinae bilobatae,* και οι Πολύχαιτοι *Capitellidae sp., Paraonidae sp.* και *Leitoscoloplos kerguelensis*, οι οποίοι εμφανίζονται και σε άλλους σταθμούς της περιοχής δειγματοληψίας. Η ομάδα των Μαλακίων ουσιαστικά απουσιάζει από την διατομή του Φαραγγιού της Σαμαριάς. Το αποτέλεσμα αυτό είναι υπό διερεύνηση καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι το σύστημα του φαραγγιού είναι ένα δυναμικό σύστημα και οι διαταράξεις σε αυτό είναι έντονες. Οι κατακρημνίσεις που λαμβάνουν χώρα στο οικοσύστημα αυτό, έχουν ως αποτέλεσμα την καταπλάκωση των οργανισμών από το ίζημα, ενώ η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων είναι μεγάλη κοντά στο βυθό με αποτέλεσμα κάποιες ομάδες οργανισμών, όπως τα Μαλάκια, να μην προλαβαίνουν να επανέλθουν, καθώς χρειάζονται μεγάλα χρονικά διαστήματα ανάκαμψης.

Οι δείκτες Shannon-Wiener (H΄), Margalef (d) και ο αριθμός των ειδών γενικότερα μειώνονται συναρτήσει του βάθους κάτι που παρατηρείται και στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Ο αριθμός των ειδών στα 215 m έφτανε τα 37 είδη/m^2 ενώ στα 529, 1012 και 1220 m υπήρχαν 21, 22 και 15 είδη/m^2, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους (Tselepides et al. 2000a) στο Κρητικό πέλαγος, η ποικιλότητα των ειδών έφτανε τα 654, 431, 481 και 197 είδη/m^2. Σε μια άλλη εργασία, στην Καλιφόρνια (Hyland et al. 1991), ο αριθμός των ειδών έφτανε τα 8983 είδη/m^2 στα 500 m και τα 2849 είδη/m^2 στα 1000 m. Στον Αρκτικό ωκεανό (Kröncke 1994), η αφθονία των ειδών έφτανε τα 488 είδη/m^2 στα 500 m και τα 220 είδη/m^2 στα 1000 m. Συγκρίνοντας δηλαδή τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας με αυτά από άλλες περιοχές, παρατηρείται ότι η θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης είναι μια περιοχή φτωχή σε αριθμό ειδών. Όσο δηλαδή αυξάνεται ο

ολιγοτροφικός χαρακτήρας του συστήματος, τόσο η μείωση της ποικιλότητας γίνεται αισθητή σε μικρότερο βάθος (Τσελεπίδης 1992). Επιπλέον, η θαλάσσια περιοχή της Κρήτης θεωρείται ως ένα ιδιαίτερο υποσύστημα της Ανατολικής Μεσογείου εξαιτίας της υψηλής εξάτμισης, της κλιματικής, υδρογραφικής και γεωμορφολογικής ποικιλίας και της πανίδας της (Tselepides and Eleftheriou 1992). Συνέπεια των παραπάνω είναι ο μικρός αριθμός ειδών και η χαμηλή αφθονία καθώς λίγα είδη είναι ικανά να ανταπεξέλθουν στις δύσκολες αυτές συνθήκες.

4.5 Παράγοντες που καθορίζουν την πανιδική σύνθεση

Από όλες τις στατιστικές και μαθηματικές αναλύσεις της εργασίας αυτής προέκυψε ότι το βάθος είναι ο κυρίαρχος παράγοντας στην διαμόρφωση της πανιδικής σύστασης. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο καθώς το βάθος, ως μεταβλητή, συσχετίζεται με όλες σχεδόν τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Εξαιτίας της συσχέτισης αυτής και για την σωστότερη διεξαγωγή των συμπερασμάτων διερευνήθηκαν κάποιες παράμετροι, στις οποίες ίσως να οφείλεται η κατανομή της πανίδας στην περιοχή δειγματοληψίας.

Η κατανομή της χλωροφύλλης στο ίζημα αντιπροσωπεύει την πρωτογενή παραγωγικότητα που λαμβάνει μέρος στα επιφανειακά στρώματα, την μεταφορά λόγω ιζηματαπόθεσης και αποικοδόμησης. Γενικά, τα ιζήματα της ανοιχτής θάλασσας περιέχουν λίγη ή καθόλου χλωροφύλλη a, εξαιτίας της αποικοδόμησης της στην στήλη του νερού, με εξαίρεση τις περιοχές με υψηλή πρωτογενή παραγωγικότητα (Graf 1989). Το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος και η ετερογένεια του υποστρώματος αποτελούν επίσης, σημαντικούς παράγοντες που οδηγούν την χωρική κατανομή της βαθιάς πανίδας (Etter and Grassle 1992). Στην παρούσα εργασία βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των μακροπανιδικών δεδομένων και του είδους του ιζήματος (ποσοστό ιλύος-αργίλου).

Τα αποτελέσματα της μεθόδου BIOENV, έδειξαν πως ο συνδυασμός των δεδομένων αφθονίας των οργανισμών με το βάθος, τον άνθρακα C, και το ποσοστό ιλύος-αργίλου έδωσε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση (R=0,703). Σε μια μελέτη στην Α. Μεσόγειο (Kröncke et al. 2003) η μέση αφθονία και ο αριθμός ειδών ήταν αρνητικά στατιστικά σημαντικά με το βάθος αλλά θετικά με τον άνθρακα που περιείχε το ίζημα. Αντίθετα, δεν βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ της πανίδας, του είδους του ιζήματος (ιλύς ή

άμμος) και των χλωροπλαστικών χρωστικών ενώ η βιομάζα της μακροπανίδας ήταν στατιστικά σημαντική με την βακτηριακή βιομάζα. Σημαντική θετική συσχέτιση εμφάνισε ο αριθμός μακροβενθικών ειδών με την Chl-a και το CPE στο νότιο Αιγαίο (Tselepides et al. 2000a) ενώ αρνητικά συσχετιζόμενα με το βάθος ήταν η Chl, το CPE και ο άνθρακας.

Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσα εργασίας, δείχνουν ότι το 70% της κατανομής της μακροπανίδας στους σταθμούς δειγματοληψίας εξηγείται από τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές παραμέτρους που αναλύθηκαν.

4.6 Ομοιότητα των βιοκοινωνιών συναρτήσει του βάθους

Η ποικιλότητα είναι σημαντικό στοιχείο στις κοινωνίες της βενθικής πανίδας, τόσο στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα όσο και στην βαθιά θάλασσα, και συνδέεται με μία σειρά λειτουργιών του οικοσυστήματος (Danovaro et al. 2008). Περιλαμβάνει την αφθονία (αριθμός ειδών), την ομοιογένεια (κατανομή των ατόμων μεταξύ των ειδών) και την κυριαρχία (συνεισφορά του κυρίαρχου είδους) (Gooday et al. 2010).

Οι τρεις ομάδες που δημιουργήθηκαν με κριτήριο την βαθυμετρία (A:529-1220 m, B:1895-2420 m και C:2670-3600 m), επιβεβαιώνει κατά έναν τρόπο το παραπάνω πρότυπο. Η διακριτότητα των ομάδων επιβεβαιώνεται και από την μέθοδο ανάλυσης ομοιότητας, με τις τρεις αυτές ομάδες να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Όσον αφορά την δομή των βιοκοινοτήτων της μακροβενθικής πανίδας στην περιοχή μελέτης, οι σταθμοί με βάθη 1082 και 1086 m και 1177 και 1220 m ήταν αυτοί που παρουσίασαν υψηλότερη ομοιότητα (53,88 και 52,89% αντίστοιχα). Ο σταθμός νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης με βάθος 2670 m, παρουσίασε το χαμηλότερο ποσοστό ομοιότητας με τους υπόλοιπους σταθμούς (0,63%).

Σχετικά με την διάκριση των σταθμών σε τέσσερις ομάδες συναρτήσει του βάθους και την σύγκριση μεταξύ τους, φάνηκε ότι την πρώτη ομάδα αποτελεί ο ρηχότερος σταθμός (215 m), την δεύτερη οι σταθμοί με βάθη μεταξύ 529-1220 m, την τρίτη οι σταθμοί μεταξύ 1895-2420 m βάθος και την τελευταία οι σταθμοί μεταξύ 2670-3600 m. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι η μακροβενθική πανίδα αλλάζει σταδιακά μέχρι ένα βάθος (2500 m περίπου), με αποτέλεσμα οι σταθμοί που βρίσκονται μεταξύ 215 και 2500

m να παρουσιάζουν ομοιότητα. Φαίνεται δηλαδή ότι η βιοκοινωνία των ρηχότερων σταθμών είναι παρόμοια. Αντίθετα σε μεγαλύτερα των 2500 m βάθη, η βιοκοινωνία του μακροβένθους παρουσιάζει σημαντικότερες και πιο εμφανείς διαφορές, όχι μόνο σε σχέση με αυτήν των ρηχότερων σταθμών αλλά και μεταξύ των βαθύτερων, με αποτέλεσμα να φαίνονται πιο ανομοιόμορφοι οι μεγαλύτερου βάθους σταθμοί. Μπορεί να ειπωθεί ότι η κοινωνία των μεγαλύτερων βαθών, παρουσιάζει μια εξειδίκευση στους οργανισμούς εφόσον οι βαθιές αυτές λεκάνες, λόγω απομόνωσης, παρουσιάζουν μια διαφορετικότητα μεταξύ τους, με το θαλασσινό νερό να μην αναμιγνύεται. Για το λόγο αυτό, στο διάγραμμα MDS, η ομαδοποίηση των σταθμών μεγαλύτερων των 2500 m δεν είναι τόσο «πυκνή» όσο αυτή των ρηχότερων.

Γενικότερα η Ανατολική Μεσόγειος έχει υποστεί υποπολλαπλάσια δειγματοληπτική προσπάθεια από την αντίστοιχη Δυτική, γεγονός που παραπέμπει στην έλλειψη επαρκών πληροφοριών για την σύνθεση των μακροβενθικών βιοκοινοτήτων της. Οι κατάλογοι των ειδών της Ανατολικής Μεσογείου δεν μπορούν να θεωρηθούν τελικοί, καθώς μεγάλο μέρος των εργασιών που πραγματοποιούνται σε διάφορες περιοχές της αναφέρουν συνεχώς νέα είδη, εμπλουτίζοντας έτσι τους καταλόγους και δίνοντας επιπρόσθετη πληροφορία. Σύμφωνα με τους (Coll et al. 2010) η βιοποικιλότητα στην Μεσόγειο Θάλασσα υπολογίζεται πως είναι πολύ υψηλότερη από αυτή που ήδη γνωρίζουμε.

Συνάμα με τα παραπάνω, πρέπει να προστεθεί ότι η έρευνα στο πεδίο της συστηματικής βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο για την Ανατολική Μεσόγειο και για το λόγο αυτό είναι νωρίς ακόμα να αποφανθεί κανείς για την πενία της περιοχής σε είδη. Όταν ο όγκος των δεδομένων για την περιοχή αυτή αυξηθεί σε επίπεδα που να τον κάνουν συγκρίσιμο με τον αντίστοιχο της Δυτικής Μεσογείου, τότε θα είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την βιοποικιλότητα, και όχι μόνο, της περιοχής (Καρακάσης 1991).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το υποθαλάσσιο φαράγγι της Σαμαριάς δεν είναι hotspot πανιδικής βιομάζας και αφθονίας. Αντίθετα τα μακροπανιδικά δεδομένα του φαραγγιού εμφανίζουν παρόμοιες τιμές με αυτές των γειτονικών περιοχών με κλίση.

- Η Ανατολική Μεσόγειος έχει ένα μοναδικό, αλλά ελάχιστα γνωστό, οικοσύστημα, επηρεαζόμενο από χαμηλή πρωτογενή παραγωγικότητα.

- Από την ανάλυση των δειγμάτων πανίδας προέκυψαν συνολικά 100 είδη μακροπανιδικών οργανισμών σε ένα σύνολο 2056 ατόμων.

- Στους περισσότερους σταθμούς η ταξινομική ομάδα που επικράτησε ήταν τα Σωληνοειδή, ενώ την μεγαλύτερη αφθονία ειδών παρουσίαζε η ομάδα των Πολυχαίτων. Τα Μαλάκια εμφανίζονταν έως το βάθος των 1000 m περίπου ενώ η ομάδα των Εχινοδέρμων απουσίαζε παντελώς από τα δείγματα της παρούσας εργασίας.

- Η επικράτηση της ομάδας των Σωληνοειδών έρχεται σε αντίθεση με τις περισσότερες μελέτες όπου οι Πολύχαιτοι παρουσιάζονται ως αφθονότερη ομάδα.

- Αφθονότερα είδη ήταν το Σωληνοειδές *Apionsoma murinae bilobatae,* ο Πολύχαιτος *Pholoides dorsipapillatus* και το δίθυρο *Kelliella abyssicola*.

- Η αφθονία και η βιομάζα μειώνονταν δραστικά συναρτήσει του βάθους, ιδιαίτερα σε βάθη μεγαλύτερα των 1000 m.

- Η αφθονία κατά μήκος των πέντε διατομών φάνηκε να είναι μεγαλύτερη νότια του λιμανιού της Αγίας Γαλήνης, στην διατομή ΙΙ, η οποία περιελάμβανε το ρηχότερο σταθμό (215 m). Μικρότερη αφθονία καταγράφηκε στην διατομή του φαραγγιού, η οποία περιελάμβανε σταθμούς με μεγάλα βάθη ενώ ταυτόχρονα η δειγματοληπτική προσπάθεια δεν ήταν τόσο επιτυχημένη.

- Η ομάδα των Μαλακίων απουσίαζε από το φαράγγι. Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται στις έντονες διαταράξεις που συμβαίνουν στο σύστημα του φαραγγιού και στην ευαισθησία των οργανισμών αυτών ή ακόμα και στην μικρότερη δειγματοληπτική προσπάθεια.

- Οι κυριότεροι παράγοντες που φάνηκε να καθορίζουν την κατανομή της μακροβενθικής πανίδας ήταν το βάθος, ο οργανικός άνθρακας και ο τύπος του ιζήματος.

- Από τα αποτελέσματα της διευθέτησης προέκυψαν 4 διαφορετικές ομάδες συναρτήσει του βάθους. Η πρώτη περιελάμβανε τον σταθμό με βάθος 215 m, η δεύτερη τους σταθμούς μεταξύ 529-1220 m, η τρίτη τους σταθμούς 1895-2420 m και η τελευταία τους σταθμούς μεταξύ 2670 και 3600 m.

- Παρατηρήθηκε ότι οι βιοκοινωνίες μεταξύ 215 και 2500 m περίπου παρουσίαζαν ομοιότητα. Αντίθετα, σε βάθη μεγαλύτερα των 2500 m οι βιοκοινωνίες όχι μόνο διέφεραν από αυτές των ρηχότερων σταθμών αλλά και μεταξύ τους. Φάνηκε, δηλαδή, να παρουσιάζεται μια εξειδίκευση στους οργανισμούς στις βαθιές αυτές λεκάνες.

- Η βιοκοινωνία της μακροβενθικής πανίδας της περιοχής δειγματοληψίας αντικατοπτρίζει την ολιγοτροφία της Ανατολικής Μεσογείου .

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abello P, Arcos JM, Sola LGd. 2003. Geographical patterns of seabird attendance to a research trawler along the Iberian Mediterranean coast. Scientia Marina 67: 69-75.

Allen SE, Madron XDd. 2009. A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. Ocean Science 6: 1369-1406.

Barnes RSK, Calow P, Olive PJW. 1988. The Invertebrates: A new synthesis: Blackwell Scientific Publications.

Bellan-Santini D, Karaman G, Krapp-Schickel G, Ledoyer M, Myers AA, Ruffo S, Schiecke U. 1982. The Amphipoda of the Mediterranean.

Bethoux JP, Gentili B, Morin P, Nicolas E, Pierre C, Ruiz-Pino D. 1999. The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. Progress In Oceanography 44: 131-146.

Bianchelli S, Gambi C, Zeppilli D, Danovaro R. 2010. Metazoan meiofauna in deep-sea canyons and adjacent open slopes: A large-scale comparison with focus on the rare taxa. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 57: 420-433.

Bianchi CN. 1996. The state of marine biodiversity. Pages 51-61. International Conference on Mediterranean Biodiversity. ENEA Roma.

Bianchi CN, Morri C. 2000. Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research. Marine Pollution Bulletin 40: 367-376.

Blake JA, Hilbig B. 1994. Dense infaunal assemblages on the continental slope off Cape Hatteras, North Carolina. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 41: 875-899.

Blake JA, Grassle FJ. 1994. Benthic community structure on the U.S. South Atlantic slope off the Carolinas: Spatial heterogeneity in a current-dominated system. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 41: 835-874.

Boetius A, Scheibej S, Tselepides A, Thiel H. 1996. Microbial biomass and activities in deep-sea sediments of the Eastern Mediterranean: trenches are benthic hotspots. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 43: 1439-1460.

Bray RJ, Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Winsconin. Ecol. Monogr. 27: 325-349.

Buscail R, Germain C. 1997. Present-day organic matter sedimentation on the NW Mediterranean margin: importance of of-shelf export. Limnology and Oceanography 42: 217-229.

Cartes JE. 1998. Dynamics of the bathyal Benthic Boundary Layer in the northwestern Mediterranean: depth and temporal variations in macrofaunal-megafaunal communities and their possible connections within deep-sea trophic webs. Progress In Oceanography 41: 111-139.

Cartes JE, Sorbe JC. 1999. Deep-water amphipods from the Catalan Sea slope (western Mediterranean): Bathymetric distribution, asseblage composition and biological characteristics. Journal of Natural History 33: 1133-1158.

Cartes JE, Company JB, Maynou F. 1994. Deep-water decapods crustacean communities in the Northwestern Mediterranean: influence of submarine canyons and season. Marine Biology 120: 221-230.

Cartes JE, Maynou F, Sarda F, Company JB, Lloris D, Tudela S. 2004. The Mediterranean deep-sea ecosystems: An overview of their diversity, structure, functioning and anthropogenic impacts, with a proposal for their conservation. Rome: IUCN, Malaga and WWF.

Carvey RS, Haedrich RL, Rowe GT. 1983. Zonation of fauna in the Deep-Sea. In: Rowe G.T. (Ed.). Deep-Sea Biology 8: 371-398.

Castro P, Huber ME. 1999. Η ζωή στα μεγάλα βάθη (μεταφρασμένο). Pages 449-482. Θαλάσσια Βιολογία. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Christaki U, Giannakourou A, Van Wambeke F, Grégori G. 2001. Nanoflagellate predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. Journal of Plankton Research 23: 1297-1310.

Clarke KR, Green RH. 1988. Statistical design and analysis for a "biological effects" study. Marine Ecology Progress Series 46: 213-226.

Clarke KR, Ainsworth M. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Marine Ecology Progress Series 92: 205-219.

Clarke KR, Warwick RM. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. Plymouth Marine Laboratory.

Coll M, et al. 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. PLoS ONE 5: e11842.

Cosson N, Sibuet M, Galeron J. 1997. Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna at three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 44: 247-269.

Danovaro R, Dell'Anno A, Fabiano M, Pusceddu A, Tselepides A. 2001. Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. Trends in Ecology & Evolution 16: 505-510.

Danovaro R, Croce ND, Dell'Anno A, Mauro F, Marrale D, Martorano D. 2000. Seasonal changes and biochemical composition of the labile organic matter flux in the Cretan Sea. Progress In Oceanography 46: 259-278.

Danovaro R, Gambi C, Anno AD, Corinaldesi C, Fraschetti S, Vanreusel A, Vincx M, Gooday AJ. 2008. Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. Current Biology 18: 1-8.

Dauwe B, Herman PMJ, Heip CHR. 1998. Community structure and biodurbation potential of macrofauna at four North Sea stations with contrasting food supply. Marine Ecology Progress Series 173: 67-83.

Day JH. 1967. Polychaeta of South Africa. Sedentaria. Publ. Br. Mus. (Nat. Hist.) 656: 459-878.

Dolan JR, Vidussi F, Claustre H. 1999. Planktonic ciliates in the Mediterranean Sea: longitudinal trends. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 46: 2025-2039.

Dounas C, A. K. 1992. Circalittoral macrobenthic assemblages of Strymonikos Gulf (N. Aegean Sea). Pubbl. Stat. zool. Napoli I: Marine Ecology 13: 85-99.

Duineveld G, Lavaleye M, Berghuis E, de Wilde P. 2001. Activity and composition of the benthic fauna in the Whittard Canyon and the adjacent continental slope (NE Atlantic). Oceanologica Acta 24: 69-83.

Duineveld GCA, Tselepides A, Witbaard R, Bak RPM, Berghuis EM, Nieuwland G, van der Weele J, Kok A. 2000. Benthic-pelagic coupling in the oligotrophic Cretan Sea. Progress In Oceanography 46: 457-481.

Etter RJ, Grassle JF. 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. Nature 360: 576-578.

Fauvel P. 1923. Faune de France: Polychetes errantes. Office central de Faunastique, Paris.

Fauvel P. 1927. Faune de France: Polychetes sedentaires. Office central de Faunastique, Paris.

Field JG, Clake KR, Warwick RM. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. Mar Ecol Prog Ser 8: 37-52.

Flach E, Heip C. 1996. Vertical distribution of macrozoobenthos within the sediment on the continental slope of the Goban Spur area (NE Atlantic). Marine Ecology Progress Series 141: 55-66.

Forbes E. 1844. Report on the Mollusca and Radiata of the Aegean Sea on their distribution, considered as bearing on geology. London. Report no.

Fredj G, Laubier L. 1985. The deep Mediterranean benthos. Paper presented at Mediterranean marine ecosystems NATO Conference Series, New York.

Gage J. D., Tyler PA. 1991. Deep-sea biology: A natural history of organisms at the deep-sea floor. New York: Cambridge University Press.

Gage JD. 2001. Deep-sea benthic community and environmental impact assessment at the Atlantic Frontier. Continental Shelf Research 21: 957-986.

García R, van Oevelen D, Soetaert K, Thomsen L, De Stigter HC, Epping E. 2008. Deposition rates, mixing intensity and organic content in two contrasting submarine canyons. Progress In Oceanography 76: 192-215.

Gerino M, Stora G, Poydenot F, Bourcier M. 1995. Benthic fauna and bioturbation on the Mediterranean continental slope: Toulon Canyon. Continental Shelf Research 15: 1483-1496.

Gili JM, Bouillon J, Pages F, Palanques A, Puig P, Heussner S. 1998. Origin and biogeography of the deep-water Mediterranean Hydromeduse including the description of two new species collected in submarine canyons of Northwestern Mediterranean. Scientia Marina 62: 113-134.

Gili JM, Pagès F, Bouillon J, Palanques A, Puig P, Heussner S, Calafat A, Canals M, Monaco A. 2000. A multidisciplinary approach to the understanding of hydromedusan populations inhabiting Mediterranean submarine canyons. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 47: 1513-1533.

Gooday AJ, Bett BJ, Escobar E, Ingole B, Levin LA, Neira C, Raman AV, Sellanes J. 2010. Habitat heterogeneity and its influence on benthic biodiversity in oxygen minimum zones. Marine Ecology 31: 125-147.

Graf G. 1989. Benthic-pelagic coupling in a deep sea benthic community. Nature 341: 437-439.

Gray JS. 1981. The Ecology of Marine Sediments Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Hairstone NG. 1959. Species abundance and community organisation. Ecology 40: 404-416.

Hausmann K, Hülsmann N, Polianski I, Schade S, Weitere M. 2002. Composition of benthic protozoan communities along a depth transect in the eastern Mediterranean Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 49: 1959-1970.

Heip C, Herman PJ, Soetaert K. 1988. Data processing evaluation and analysis. In: Higgins R.P., Thiel H. (eds) Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington DC, London: 197-231.

Hessler RR, Sanders HL. 1967. Faunal diversity in the deep-sea. Deep-Sea Research 14: 65-78.

Hessler RR, Jumars PA. 1974. Abyssal community analysis from replicate Box Cores in the central north Pacific. Deep-Sea Research 21: 185-209.

Hopkins TS. 1985. Physics of the sea. In: Key Environments: Western Mediterranean. R Margalef (ed.). Pergamon Press. New York: 100-125.

Hyland J, Baptiste E, Campbell J, Kennedy J, Kropp R, Williams S. 1991. Macroinfaunal communities of the Santa Maria Basin on the California outer continental shelf and slope. Marine Ecology Progress Series 78: 147-161.

Ignatiades L, Georgopoulos D, Karydis M. 1995. Description of the Phytoplanktonic Community of the Oligotrophic Waters of the SE Aegean Sea (Mediterranean). Marine Ecology 16: 13-26.

Jones NS. 1976. British Cumaceans. Arthropoda:Crustacea, Keys and Notes for the Identification of the Species. Academic Press, London and New York: The Linnean society of London.

Kaiser MJ, Attrill MJ, Jennings S, Thomas DN, Barnes DKA, Brierley AS, Polunin NVC, Raffaelli DG, Williams PJlB. 2005. The Deep Sea. Pages 279-309. Marine Ecology: Processes,systems, and impacts, Oxford University Press.

Karakasis I, Zivanovic S. 1995. Seasonal variability of chlorophyll a concentration in the water column of Malia Bay (South Aegean Sea). Rapp PV Reun Commn Int Explor Sci Mer Medit 34: 210.

Karakasis I., Eleftheriou A. 1997. The continental shelf of Crete: structure of macrobenthic communities. Marine Ecology Progress Series 160: 185-196.

Kingston PF. 2001. Benthic organisms overview. Pages 286-295. Edinburg, UK: Academic Press.

Kiortsis V. 1985. Mediterranean marine ecosystems: Establishment of zooplaktonic communities in transitional and partly isolated areas. Pages 377-386 in Moraitou-Apostolou M, Kiortsis V, eds. Mediterranean Marine Ecosystems. New York: Plenum Press.

Koukouras A, Voultsiadou E, Kitsos MS, Doulgeraki S. 2001. Macrobenthic fauna diversity in the Aegean Sea, affinities with other Mediterranean regions and the Black Sea. BIOS 6: 61-76.

Koutsoubas D, Tselepides A, Eleftheriou A. 2000. Deep sea molluscan fauna of the Cretan Sea (Eastern Mediterranean): Faunal, ecological and zoogeographical remarks. Marine Biodiversity 30: 85-98.

Krom MD, Kress N, Brenner S, Gordon LI. 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. Limnol. Oceanogr. 36: 424-432.

Kröncke I. 1994. Macrobenthos composition, abundance and biomass in the Arctic Ocean along a transect between Svalbard and the Makarov Basin. Polar Biology 14: 519-529.

Kröncke I, Türkay M, Fiege D. 2003. Macrofauna Communities in the Eastern Mediterranean Deep Sea. Marine Ecology 24: 193-216.

Kruskal JB, Wish M. 1978. Multidimensional scaling. Sage Publications, California, Beverly Hills.

Lampadariou N. 2001. Study of the meiobenthic ecosystem of the Aegean sea with a special emphasis on nematodesUniversity of Crete, Heraklion.

Lampadariou N, Tselepides A. 2006. Spatial variability of meiofaunal communities at areas of contrasting depth and productivity in the Aegean Sea (NE Mediterranean). Progress In Oceanography 69: 19-36.

Lastras G, Arzola RG, Masson DG, Wynn RB, Huvenne VAI, Hühnerbach V, Canals M. 2009. Geomorphology and sedimentary features in the Central Portuguese submarine canyons, Western Iberian margin. Geomorphology 103: 310-329.

Lincoln RJ. 1979. British Marine Amphipoda: Gammaridea, British Museum (National History). London.

Lykousis V, et al. 2002. Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. Journal of Marine Systems 33-34: 313-334.

Macquart-Moulin C, Patriti G. 1996. Accumulation of migratory micronekton crustaceans over the upper slope and submarine canyons of the northwestern Mediterranean. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 43: 579-601.

Magurran AE. 1988. Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishment, London.

Margalef DR. 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36-71.

McIntyre AD, Eleftheriou A. 1968. The bottom fauna of a flatfish nursery ground. J. mar. Biol. Ass. U.K. 48: 113-142.

Miller AR, Tchernia P, Charnon H, McGill DA. 1970. Mediterranean sea atlas of temperature, salinity, oxygen. Profiles and data from cruises os RV Chain. The Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole. Mass III.

Monaco A, Durrieu de Madron X, Radakovitch O, Heussner S, Carbonne J. 1999. Origin and variability of downward biogeochemical fluxes on the Rhone continental margin (NW mediterranean). Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 46: 1483-1511.

Naylor E. 1972. British Marine Isopods: Keys and Notes for the Identification of the Species. Academic press, London and New York: The Linnean society of London.

Nybakken JW. 2005. Θαλάσσια Βιολογία- Μια οικολογική προσέγγιση (translated). Pages 133-178. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.

Oliveira A, Santos AI, Rodrigues A, Vitorino J. 2007. Sedimentary particle distribution and dynamics on the Nazaré canyon system and adjacent shelf (Portugal). Marine Geology 246: 105-122.

Pace ML, Glasser JE, Pomeroy LR. 1984. A simulation analysis of continental shelf food webs. Marine Biology 82: 47-63.

Palomera I. 1992. Spawning of anchovy Engraulis encrasicolus in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. Marine Ecology Progress Series 79: 215-223.

Pancucci-Papadopoulou MA, Murina GVV, Zenetos A. 1999. The phylum Sipuncula in the Mediterranean sea. Athens.

Peres JM. 1982. Zonations: General features of organismic assemblages in pelagial and bathial. In: Kinne O. (ed.). Marine Ecology 1.

Peres JM, Picard J. 1958. Researches sur les peuplements benthiques de la Mediterranee Nord-Orientale. Annual Institution of Oceanography 34: 213-281.

Petersen C. 1913. Valuation of the sea II. The animal communities of the sea bottom and their importance for marine zoogeography. Rep. Danish Biology Stn To Ag. 21: 1-44.

Pielou EC. 1969. An introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York.

Pitta P, Giannakourou A, Christaki U. 2001. Planktonic ciliates in the oligotrophic Mediterranean Sea: longitudinal trends of standing stocks, distributions and analysis of food vacuole contents. Aquatic Microbial Ecology 24: 297-311.

Polymenakou PN, Lampadariou N, Tselepides A. 2008. Exo-enzymatic activities and organic matter properties in deep-sea canyon and slope systems off the southern Cretan margin. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 55: 1318-1329.

Psarra S, Zohary T, Krom MD, Mantoura RFC, Polychronaki T, Stambler N, Tanaka T, Tselepides A, Frede Thingstad T. 2005. Phytoplankton response to a Lagrangian phosphate addition in the Levantine Sea (Eastern Mediterranean). Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 52: 2944-2960.

Pusceddu A, Bianchelli S, Canals M, Sanchez-Vidal A, Durrieu De Madron X, Heussner S, Lykousis V, de Stigter H, Trincardi F, Danovaro R. 2010. Organic matter in

sediments of canyons and open slopes of the Portuguese, Catalan, Southern Adriatic and Cretan Sea margins. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 57: 441-457.

Reish DJ. 1959. A discussion of the importance of screen size in washing quantitative marine bottom samples. Ecology 40: 307-309.

Rex MA. 1981. Community Structure in the Deep-Sea Benthos. Annual Review of Ecology and Systematics 12: 331-353.

Rhoads DC. 1974. Organism sediment relations on the muddy sea floor. Oceanography Marine Biology Anuual Review (of ecology and systematics) 12: 263-300.

Rowe GT. 1971. Benthic biomass and surface productivity. In: Costlow JD (ed) Fertility of the Sea. Gordon Gordon Breach, New York, p 442-454.

Rowe GT, Menzel DW. 1971. Quantitative benthic samples from the Deep Gulf of Mexico with comments on the measurement of deep-sea biomass. Bull. Mar. Sci. 21: 556-566.

Rowe GT, Polloni PT, Haedrich RL. 1982. The deep-sea macrobenthos on the continental margin of the northwest Atlantic Ocean. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers 29: 257-278.

Sanders HL. 1958. Benthic Studies in Buzzards Bay. I. Animal-Sediment Relationships. Limnology and Oceanography 3: 245-258.

Sanders HL, Hessler RR, Hampson GR. 1965. An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay Head-Bermuda transect. Deep-Sea Research 12: 845-867.

Sarda F, Cartes JE, Norbis W. 1994. Spetio-temporal structure of the deep-water shrimp Aristeus antennatus (Decapoda: Aristeidae) population in the western Mediterranean. Fishing Bulleting 92: 599-607.

Sarda F., Antoni Calafat, Mar Flexas, Anastasios Tselepides, Miquel Canals, & ME, Tursi A. 2004. An introduction to Mediterranean deep-sea biology. Scientia Marina 68.

Shannon CE, Weaver N. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.

Siokou-Frangou I, et al. 2002. Carbon flow in thw planktonic food web along a gradient of oligotrophy in the Aegean Sea (Mediterranean Sea). J. Mar. Syst. 33-34: 335-353.

Snelgrove PVR, Butman CA. 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. Boca Raton, FL, ETATS-UNIS: CRC Press.

Stefanescu C, Nin-Morales B, Massuti E. 1994. Fish assemblages on the slope in the Catalan Sea (western Mediterranean): influence of a submarine canyon. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 74: 499-512.

Stora G, Bourcier M, Arnoux A, Gerino M, Campion JL, Gilbert F, Durbec JP. 1999. The deep-sea macrobenthos on the continental slope of the northwestern Mediterranean Sea: a quantitative approach. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 46: 1339-1368.

Thiel H. 1975. The size structure of Deep-sea benthos. Int. Revue ges. Hydrobiol. 60: 575-606.

Thorson G. 1950. Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrates. Biological Reviews 25: 1-25.

Tselepides A, Eleftheriou A. 1992. South Aegean (Eastern Mediterranean) continental slope benthos: macroinfaunal-environmental relationships. Pages 139-156 in Rowe GT, Pariente V, eds. Deep-sea food chains and the global carbon cycle. Dordecht: Kluwer Acad. Publications.

Tselepides A, Lampadariou N. 2004. Deep-sea meiofaunal community structure in the Eastern Mediterranean: are trenches benthic hotspots? Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 51: 833-847.

Tselepides A, Zervakis V, Polychronaki T, Danovaro R, Chronis G. 2000. Distribution of nutrients and particulate organic matter in relation to the prevailing hydrographic features of the Cretan Sea (NE Mediterranean). Progress In Oceanography 46: 113-142.

Tselepides A, Papadopoulou K-N, Podaras D, Plaiti W, Koutsoubas D. 2000a. Macrobenthic community structure over the continental margin of Crete (South Aegean Sea, NE Mediterranean). Progress In Oceanography 46: 401-428.

Tselepides A, Papadopoulou KN, Podaras D, Plaiti W, Koutsoubas D, Pantazoglou F. 1997. Macrobenthic community structure in the Cretan Sea. Pages 233-236. Proceedings of the 5th National Symposium on Oceanography and Fisheries. Kavala, Greece.

Tselepides A, Polychronaki T, Marrale D, Akoumianaki I, Dell'Anno A, Pusceddu A, Roberto D. 2000c. Organic matter composition of the continental shelf and bathyal sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean). Progress In Oceanography 46: 311-344.

Turley CM, Bianchi M, Christaki U, Conan P, Harris JRW, Psarra S, Ruddy G, Stutt ED, Tselepides A, Wambeke FV. 2000. Relationship between primary producers and bacteria in an oligotrophic sea- the Mediterranean and biochemical implications. Marine Ecology Progress Series 193: 11-18.

Udalov AA, Azovsky AI, Mokievsky VO. 2005. Depth-related pattern in nematode size: What does the depth itself really mean? Progress In Oceanography 67: 1-23.

Vetter EW, Dayton PK. 1998. Macrofaunal communities within and adjacent to a detritus-rich submarine canyon system. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 45: 25-54.

Weaver PPE, David S.M. Billett, Antje Boetius, Roberto Danovaro, & AF, Sibuet M. 2004. Hotspot ecosystem research on Europe's deep-ocean margins. Journal of The Oceanography Society 17.

Wieking G. 2002. The macrofauna at the Dogger Bank: food supply in relation to hydroclimateUniversity of Oldenburg.

Ζενέτου Α. 1989. Επισκόπηση της βενθικής πανίδας στο κεντρικό Αιγαίο πέλαγος (Κυκλάδες-Σαρωνικός). Πρόγραμμα "Ωκεανογραφικαί έρευναι Ελληνικών θαλασσών" Ε.Κ.Θ.Ε.

Θεοδώρου Α. 2004. Ωκεανογραφία-Εισαγωγή στο θαλάσσιο περιβάλλον. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Καρακάσης Ι. 1991. Συμβολή στη μελέτη του βενθικού οικοσυστήματος της υφαλοκρηπίδας της Κρήτης. διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Βιολογίας

Τσελεπίδης Α. 1992. Οικολογική μελέτη του βαθύαλου οικοσυστήματος του Αιγαίου πελάγους. διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, τμήμα Βιολογίας.